

**Validació de mapes de susceptibilitat
d'esllavissaments elaborats mitjançant
diferents tècniques a la zona de Sant
Salvador de Toló; caracterització de les
zones inestables i estudi de la seva
activitat.**

RESUM

La creixent extensió de les zones urbanes i les infraestructures provoca que cada cop estiguem més exposats als perills geològics. Aquest creixement ha portat a ocupar zones que tradicionalment no ho havien estat a causa de l'alt risc geològic al qual es troben exposades. Sovint no es pot evitar el desencadenament de moviments de massa (o altres processos), però sí que es poden minimitzar els danys que aquests poden causar. És necessari un bon coneixement del terreny i dels seus processos per tal de poder efectuar una bona *predicció*, *prevenció* i *protecció* enfront els riscos geològics.

Aquesta tesina està emmarcada dins el projecte "*Mapa de Prevenció de Riscos Geològics de Catalunya (1:25.000)*". El projecte "*MPRGC (1:25.000)*" forma part del pla de prevenció de riscos naturals que s'està duent a terme a Catalunya.

A partir de diferents fonts cartogràfiques (mapa geològic, mapa inventari d'esllavissaments i mapa litològic de camp, Model Digital d'Elevacions, etc) i vàries tècniques: Stability Index MAPping (SINMAP) i Índex d'Inestabilitat del Substrat (IIS), entre d'altres, s'han elaborat mapes de susceptibilitat d'esllavissaments a escala 1:25000 a una zona pilot del projecte, situada a Sant Salvador de Toló (Conca de Tremp, Pirineu Lleidatà).

En primer lloc, mitjançant una caracterització estadística detallada, duta a terme amb l'ajuda d'un Sistema d'Informació Geogràfica (SIG), s'han pogut descriure els rangs de pendents més habituals a la zona d'estudi, molt suaus fins i tot a les zones esllavissades; les àrees dels esllavissaments, en general, inferiors a 0,1 km² i les franges altimètriques i desnivells que tenen la majoria de les esllavissades. També s'ha determinat que majoritàriament els esllavissaments es desenvolupen en els dipòsits lutítics i que en general, la orientació de l'estratificació no afavoreix el desencadenament d'esllavissades.

Gràcies a aquest estudi s'ha pogut fer una validació dels mapes de susceptibilitat creats, amb ànim de contrastar les tècniques utilitzades i la informació de base utilitzada. La tècnica de validació s'ha creat especialment per aquest estudi i es basa en determinar quantitativament la coincidència entre les classes dels mapes de susceptibilitat i el mapa inventari. Després d'un procés d'ajust del mètode s'ha determinat que l'ús d'un mapa litològic de camp (1:10000) creat especialment per a l'estudi de la susceptibilitat millora substancialment els resultats respecte l'ús del mapa geològic 1:25000. El mètode determinístic (SINMAP) és el que presenta una coincidència més elevada amb el mapa inventari, si s'utilitza el mapa litològic de camp com a base. També el mètode heurístic IIS presenta uns resultats molt bons.

Finalment s'ha fet un estudi de l'activitat de les zones esllavissades amb l'objectiu d'establir una classificació de les mateixes, segons la seva activitat (a partir dels indicadors de camp). Aquesta classificació s'ha realitzat d'una forma quantitativa, a partir d'un previ anàlisi qualitatiu. Gràcies a aquesta dada, s'ha pogut establir una comparació entre l'activitat i la susceptibilitat de la zona. A més, aquesta dada d'activitat pot tractar-se com a una primera estimació de la freqüència dels esllavissaments, que s'haurà de determinar per a fer un estudi de perillositat.

ABSTRACT

The increasing growth of urban areas and infrastructure is causing us to be more exposed to geological hazards. This growth has contributed us to build in areas that traditionally had not been urbanized due to the high geological risk. Often we can not avoid triggering mass movements (or other processes), but we can minimize the damage they can cause. We need a good knowledge of the land and its processes in order to make a good prediction, prevention and protection against the geological risks.

This study is part of the project "*Mapa de Prevenció de Riscos Geològics de Catalunya (1:25.000)*". The project "MPRGC (1:25.000)" is part of the plan to prevent natural hazards in Catalonia.

From different cartographic sources (geological map, inventory map and field lithological map, Digital Elevation Model, etc.) and various techniques: Stability Index Mapping (SINMAP) and Index of Instability of the Substrate (IIS), among others, some landslide susceptibility maps 1:2500 have been created in a test area of the project, situated in Sant Salvador de Toló (Conca de Tremp, Lleida Pyrenees).

First of all, by a detailed statistical characterization, made by using a Geographical Information System (GIS), it has been determined that the average slope in the study area is really low, even in landslide areas; that the area of the landslides is normally less than 0,1 km² and also the difference in altitude of the landslides. In addition, it has been observed that the landslides occurring in the study area mostly take place in claystones, and, in general, the geological bedding doesn't contribute to trigger landslides.

This study permitted to do the validation of the susceptibility maps. The aim is to compare the techniques used and the input information. The validation technique was created specifically for this study and is based on quantitative results to determine the overlap between the classes of maps of susceptibility and the inventory map. After an adjustment, the method has determined that the use of a field lithological map (1:10000) (elaborated to study the susceptibility) substantially improved results in contraposition to the use of the geological map 1:25000. The deterministic technique (SINMAP) is the one which suits better to the inventory map, using the field lithological map as input. Also IIS heuristic method shows good results.

Finally, a study about the activity of the landslide areas has been done. The aim of this study is to establish a classification of the landslides in the area, depending on their activity (using the field indicators). This classification has been done by a quantitative way, from a previous qualitative analysis. Using this data, it has been possible to make a comparison between the activity and the susceptibility of the area. Apart from that, this data can be used as a first approach of the frequency of the landslides, which has to be determined to make a hazard study.

AGRAÏMENTS

Aquesta tesina ha estat fruit d'un projecte ("*Mapa de Prevenció de Riscos Geològics de Catalunya (1:25.000)*") en el qual he tingut la sort de poder col·laborar i aprendre moltes coses. És per això que vull agrair sincerament a la gent que ha fet possible aquest projecte i, en conseqüència, aquesta tesina: l'equip del Departament d'Enginyeria del Terreny, Cartogràfica i Geofísica de la UPC (Jordi Corominas, Marcel Hürlimann, Nieves Lantada); Ramon Copons i la gent de l'Institut Geològic de Catalunya.

Val a dir que, al marge del projecte, hi ha dues persones essencials en la realització d'aquesta tesina: els meus tutors. Vull donar les gràcies al Marcel i a la Nieves per haver-me guiat, recolzat, corregit, per haver-me ensenyat tantes coses, per haver confiat tan en mi, per haver-me posat les coses tan fàcils aquests últims mesos, quan la quantitat de feina i el poc temps jugaven en contra.

Hi ha gent a qui vull donar les gràcies perquè m'han ajudat a veure més clares algunes parts d'aquesta tesina. Gràcies al José Moya, per haver-me assessorat en l'estudi de l'activitat dels esllavissaments; al Ramon Copons, per haver-me resolt tots aquells dubtes sobre la feina de camp; i al Professor Jordi Corominas, per tot allò que he après d'ell, les seves classes, les sortides de camp, etc.

Finalment (però no menys important), hi ha una sèrie de gent que han estat sempre al meu costat (abans, durant i després de la tesina), i els vull donar les gràcies també a ells. Gràcies a la meva família, per tantes i tantes i tantes coses; a tots els meus amics, per ser sempre a prop meu; als companys i amics d'Enginyeria Geològica, que durant tots aquests anys han estat gairebé una segona família; i especialment a en Guillem.

ÍNDEX

1. INTRODUCCIÓ	8
1.1. Motivació	8
1.2. Objectius	8
1.3. Estructura.....	9
2. CONCEPTES	10
2.1. Moviments de massa	10
2.1.1. Definició	10
2.1.2. Classificacions	10
2.2. Susceptibilitat	13
2.2.1. Creació de mapes de susceptibilitat.....	14
2.2.1.1. Anàlisi heurística	15
2.2.1.2. Anàlisi geomorfològica	15
2.2.1.3. Anàlisi probabilística	15
2.2.1.4. Anàlisi determinística.....	15
2.3. S.I.G.	16
2.3.1. Representació de les dades.....	16
2.3.2. Models i estructures de dades	16
2.3.2.1. Model Vectorial:.....	17
2.3.2.2. Model Ràster:	17
2.3.3. S.I.G. i mapes de susceptibilitat.....	17
3. ZONA D'ESTUDI.....	19
3.1. Caracterització geogràfico-geològica	19
3.1.1. Conca de Tremp.....	19
3.1.2. Zona d'Estudi.....	20
3.2. Dades disponibles.....	23
3.2.1 Fonts cartogràfiques.....	23
3.2.2. Digitalització del mapa de camp	24
3.2.2.1. Dades Vectorials/Ràster creades a partir del Mapa de Camp.....	25
3.2.3. Creació dels mapes de susceptibilitat.....	26
3.2.3.1. SINMAP.....	28
3.2.3.2. IIS	31
3.2.3.3. IGC	33

4. ANÀLISI	34
4.1. Caracterització estadística detallada	35
4.1.1. Zones inestables (esllavissades)	37
4.1.1.1. Àrea	38
4.1.1.2. Altimetria.....	38
4.1.1.3. Pendent	40
4.1.1.4. Orientació	41
4.1.1.5. Litologia	44
4.1.1.6. Conca de drenatge	47
4.1.2. Zones estables (no esllavissades)	49
4.1.3. Correlacions entre zones de diferent susceptibilitat.....	50
4.1.3.1. Relació pendent-àrea	50
4.2. Validació dels mapes de susceptibilitat	52
4.2.1. Mapes a validar	52
4.2.1.1. SINMAP	53
4.2.1.2. IIS	55
4.2.1.3. IGC	57
4.2.2. Mètodes de Validació	59
4.2.2.1. Antecedents validació per punts	59
4.2.2.2. Antecedents validació per àrees	60
4.2.2.3. Mètode utilitzat	61
4.2.3. Resultats.....	64
4.2.3.1. Validació utilitzant totes les classes de susceptibilitat	64
4.2.3.2. Validació utilitzant classesde susceptibilitat extremes	67
4.2.4. Discussió dels resultats	69
4.3. Activitat	69
4.3.1. Anàlisi qualitativa.....	70
4.3.2. Anàlisi quantitativa.....	72
4.3.2.1. Índex d'activitat	72
4.3.2.2. Indicadors i classes dels indicadors	72
4.3.2.3. Resultats i validació.....	73
4.3.2.4. Índex d'Activitat i Susceptibilitat	75
5. CONCLUSIONS I FUTURES VIES DE RECERCA.....	77
6. REFERÈNCIES	80
ANNEX 1: TAULES DE RECLASSIFICACIÓ.....	82
ANNEX 2: FITXA DE CAMP	84
ANNEX 3: INFORMACIÓ BÀSICA (DIGITAL)	86

1. INTRODUCCIÓ

1.1. MOTIVACIÓ

Aquesta tesina està emmarcada dins el projecte “*Mapa de Prevenció de Riscos Geològics de Catalunya (1:25.000)*”. El projecte “*MPRGC (1:25.000)*” forma part del pla de prevenció de riscos naturals que s'està duent a terme a Catalunya.

El *MPRGC* s'ha concebut com un mapa multi perillositat que ha de reflectir, per cadascun dels riscos considerats, els fenòmens i indicadors d'activitat, amb l'objectiu d'identificar aquells sectors del territori susceptibles de desenvolupar esdeveniments potencialment destructius i que poden generar situacions de risc.

En la realització d'aquest projecte, dirigit per l' Institut Geològic de Catalunya, es va acordar una col·laboració del Departament d'Enginyeria del Terreny, Cartogràfica i Geofísica (UPC) amb l'objectiu de proposar metodologies de modelització de zones susceptibles. Es van escollir 3 zones pilot on el Departament de la UPC, en col·laboració amb Ramon Copons (GEORISC SLP) realitzaria les tasques necessàries per aconseguir crear mapes de susceptibilitat a diversos moviments de massa, amb diferents tècniques. Es pretén establir metodologies concretes per a automatitzar el projecte *MPRGC*.

Durant l'any 2008 es van realitzar els treballs de camp i es van completar els mapes de susceptibilitat que proposava el Departament, a la primera de les tres zones (Sant Salvador de Toló-Biscarri). Es van presentar diversos mapes de susceptibilitat, en base a diferents metodologies de creació i amb diferents fonts de base. A la zona d'estudi, el moviment de massa que més afecta són els esllavissaments (entès com a esllavissaments s.s.), tot i que també s'hi localitzaren despreniments.

Un cop generats aquests mapes, un pas clau per a garantir la seva aplicabilitat és la validació. Aquesta necessitat va ser el que va motivar aquesta tesina (es centra en la validació de la susceptibilitat als esllavissaments). Sota aquest objectiu principal van anar sorgint altres propostes de recerca, a les quals s'intenta donar resposta en aquesta memòria.

1.2. OBJECTIUS

L'objectiu principal d'aquesta tesina és la validació de tres tècniques de creació de mapes de susceptibilitat als esllavissaments, emprades a la zona de Sant Salvador de Toló. Es pretén determinar quina de les tècniques s'adapta millor, així com també com afecta als resultats el fet d'utilitzar un determinat mapa de base.

Complementàriament, es va creure que seria bo intentar fer una caracterització estadística de les zones inestables, a partir de les dades de camp i les fonts cartogràfiques disponibles. D'aquesta manera, en cas de poder definir unes característiques comunes, es podrien considerar en un futur per a millorar la modelització de la susceptibilitat o altres aplicacions. En aquest apartat també es proposa la comparació de les característiques de les zones inestables amb les d'algunes zones estables.

Finalment, aprofitant de nou les dades de camp, es va plantejar la idea d'establir una classificació dels esllavissaments identificats, segons la seva activitat. Llavors, aquesta classificació es podria aprofitar per dissenyar la metodologia de creació dels mapes de perillositat i risc.

1.3. ESTRUCTURA

En primer lloc, en aquesta tesina s'introdueixen els conceptes necessaris per a comprendre i situar el treball: tan la base teòrica sobre moviments de massa, susceptibilitat i S.I.G.; com el marc geològic i geogràfic de la zona d'estudi, les fonts cartogràfiques utilitzades i les metodologies emprades per a crear els mapes de susceptibilitat.

Llavors, es presenta el capítol d'anàlisi (Capítol 4), estructurat segons els objectius que es comenten en l'apartat anterior:

- **Caracterització estadística detallada:** S'estudien diverses característiques geològiques i geomorfològiques. Es presenten resultats obtinguts en zones estables i zones inestables i s'estableix una correlació en algunes d'elles.
- **Validació dels mapes de susceptibilitat:** A partir de mètodes preexistents de validació de mapes de susceptibilitat es proposa un nou mètode per a validar els mapes d'aquest treball. S'implementa el mètode i s'analitzen els resultats a fi de descobrir quin dels mapes s'adapta millor a la realitat de la zona. El mètode de validació té algunes mancances, que es comenten en el corresponent apartat del treball.
- **Activitat:** Les fitxes de camp que Ramon Copons ha completat durant la creació dels mapes de camp serveixen de base per establir un índex (empíric) que permet avaluar l'activitat en els esllavissaments de la zona. Es proposa un mètode per validar l'índex i es comenta la seva aplicació en projectes com *MPRGC*. També es fa una comparació qualitativa entre la susceptibilitat i l'activitat.

Finalment es recullen les conclusions obtingudes i es plantegen noves vies de recerca en un futur.

2. CONCEPTES

2.1. MOVIMENTS DE MASSA

Els **moviments de massa** o moviments de vessant representen, per la seva magnitud i freqüència, un risc geològic molt important que pot suposar grans desperfectes materials en infraestructures, edificacions, etc... i pèrdues de vides humanes en algunes ocasions. Tot i la seva abundància en zones muntanyoses la majoria de moviments són de petit volum i no representen una amenaça per a les persones; però cal recordar que els moviments de massa són uns dels processos naturals més previsibles.

2.1.1. DEFINICIÓ

Les primeres definicions del terme lliscament poden ser de Sharpe al 1938 (Sharpe, 1938) que definí els lliscaments com la *caiguda perceptible o moviment descendent d'una massa relativament seca de terra, roca o ambdues*. Segons Crozier (Crozier, 1986) un lliscament es defineix com el *moviment gravitacional cap a l'exterior del vessant i descendent de terres o roques sense l'ajuda de l'aigua com a agent de transport*. Aquestes definicions poden semblar contradictòries amb les teories actuals, com es mostra a continuació.

2.1.2. CLASSIFICACIONS

Les classificacions més modernes dels moviments de massa es fonamenten bàsicament en dos conceptes: els materials involucrats i el mecanisme de ruptura present. Algunes de les classificacions que s'han basat en aquestes dues característiques són: Varnes, 1984; EPOCH, 1993 (Figura 1); Cruden y Varnes, 1996, Dickau et al 1996.

Type	Material		
	Rock	Debris	Soil
Fall	Rockfall	Debris fall	Soil fall
Topple	Rock topple	Debris topple	Soil topple
Slide (rotational)	Single (slump)	Single	Single
	Multiple	Multiple	Multiple
	Successive	Successive	Successive
Slide (translational). Non-rotational	Block slide	Block slide	Slab slide
Planar	Rock slide	Debris slide	Mudslide
Lateral spreading	Rock spreading	Debris spread	Soil (debris) spreading
Flow	Rock flow (sackung)	Debris flow	Soil flow
Complex (with run-out or change of behaviour downslope; note that nearly all forms develop complex behaviour)	E.g. Rock avalanche	E.g. Flow slide	E.g. Slump-earthflow

Figura 1: Classificació dels moviments de massa proposada per EPOCH (1993) (Grau,2003)

Totes aquestes classificacions agrupen els moviments segons 5 tipologies molt genèriques que constitueixen els cinc mecanismes principals:

- Despreniments o caigudes
- Bolcades
- Lliscaments
- Expansions laterals
- Fluxos

En classificacions més extenses, com la de Corominas i García al 1997 (Corominas i García. 1997) (Taula 1), existeixen dos grups més, pel que fa a tipus de moviments: les deformacions sense ruptures o prèvies a la ruptura i els moviments complexos, que són una combinació de diferents moviments. Aquesta última tipologia de moviments, pot resultar confusa, ja que la gran majoria de moviments de massa es presenta com una combinació de diferents moviments simples, i per tant, podria englobar tots els moviments estudiats si no es fa una classificació acurada i correcta del fenomen.

Taula 1: Classificació simplificada dels moviments de massa segons Corominas i García

Bolcades	
Superfícies de desplaçament planes o assimilables a planes	Lliscaments Desplaçaments concordants Desplaçaments discordants
Desplaçaments sobre superfícies corbes	Deslligaments rotacional
Fluxos	Reptació Colades de terra Solifluxió Corrents d'arrossegalls de sorra i llms Fluxos de roca Allaus
Expansió lateral	
Deformacions sense ruptura o prèvies a la ruptura	Reptació per fluència Flexió d'estrats Combadura Vinclament en vall Deformacions gravitacionals profundes Ruptura confinada
Moviments complexos	Col·lapse de volcans
	Fluxos lliscants
Despreniments o caigudes	

Tal i com va definir Corominas (Corominas, 1989) un **despreniment** és aquell moviment d'una part de sòl o roca, en forma de blocs aïllats o massivament que, en

gran part, la seva trajectòria és descendent per l'aire en caiguda lliure, tornant a entrar en contacte amb el terreny, on es produeixen salts, rebots i rodades.

Les **bolcades** són moviments de rotació cap a l'exterior, d'una unitat o d'un conjunt de blocs, al voltant d'un eix pivotant situat per sota del centre de gravetat de la massa moguda.

Els **lliscaments** són moviments descendents relativament ràpids d'una massa de sòl o roca que té lloc al llarg d'una o varies superfícies definides. Es considera que la massa mobilitzada es desplaça com un bloc únic; segons la trajectòria poden ser rotacionals o traslacionals.

El moviment dominant en les **expansions laterals**, sol ser l'expansió plàstica dels materials.

Finalment els **fluxos** són moviments de una massa desorganitzada o mesclada on no totes les partícules es desplacen a la mateixa velocitat ni les seves trajectòries tenen perquè ser paral·leles. Degut a això la massa adopta sovint morfologies lobulades.

La classificació emprada en aquest estudi és la classificació simplificada dels moviments de massa segons Varnes (Varnes, 1978), on es tracten els diferents fenòmens d'una manera molt més simplificada que en els estudis anteriorment anomenats, però que conserva les 5 tipologies bàsiques per la correcta classificació dels fenòmens estudiats, amb l'afegit dels moviments complexos.

Taula 2: Classificació dels moviments de massa segons Varnes (Varnes, 1978)

Falls (Despreniment o caiguda)	
Topples (Bolcada)	
Slides (Lliscament)	Rotacional (Rotacional) Traslacional (Traslacionals)
Lateral spreads (Expansió lateral)	
Flows (Flux)	
Complex (Complex)	

En la classificació creada per Vilaplana (Vilaplana, 2008-2009), apareixen esquemes per facilitar la ordenació dels fenòmens estudiats (Figura 2).




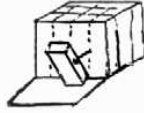











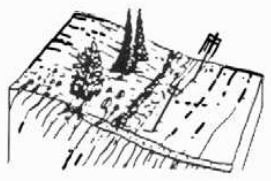
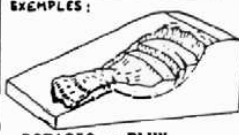

CLASSIFICACIÓ MOVIMENTS DE MASSA	
DESPRENDIMENTS (fall)	  
BOLCADES (topples)	 
ESLLAVISSAMENTS (SLIDES) (slides)	TRASLACIONAL  
	ROTACIONAL (slump) simple  multiple 
FLUXOS (flows)	 F. o COLADES de derrubis, terra o fang    SOLIFLUXIO 
REPTACIO (creep)	 
MOV. COMPLEXES	EXEMPLES: ROTACIO - FLUX  BOLCADA-DESPRENDIMENT 

Figura 2: Classificació dels moviments de massa segons Vilaplana (Vilaplana, 2008-2009)

2.2. SUSCEPTIBILITAT

Els **mapes de susceptibilitat** pretenen representar una distribució espacial que classifiqui el terreny en funció de la seva predisposició per a generar esllavissades. Aquesta, depèn de la topografia, la geologia, les propietats geotècniques, i altres factors. Es solen incloure tant els esllavissaments que es desencadenen en la mateixa zona d'estudi i els que, tot i no desencadenar-se la trencada a la zona d'estudi, el seu abast sí que la inclou. L'escala de la susceptibilitat sol ser relativa.

La zona d'estudi pot estar afectada per més d'un tipus d'esllavissaments (per exemple: despreniments, fluxos, etc). Cada fenomen pot tenir un grau de susceptibilitat (i per tant també de perillositat) diferent. En aquests casos el millor és preparar mapes de susceptibilitat i perill per a cada tipus d'esllavissaments i combinar-los per a obtenir el mapa de perillositat global de la zona d'estudi.

Hi ha algunes diferències de punt de vista entre experts en mapes d'esllavissaments, sobre si s'han de fer estudis en base a susceptibilitat de **trencada** o **d'abast**. Alguns pensen que l'abast només ha de ser considerat en l'anàlisi de perillositat. Tot i així, en algunes situacions és difícil acotar la freqüència dels esllavissaments i l'anàlisi queda en un anàlisi de susceptibilitat. En aquests casos es perd la importància de discriminar si es tracta de trencament o abast. Llavors s'haurien de considerar ambdós factors en l'anàlisi de susceptibilitat.

S'ha de tenir en compte que l'objectiu dels mapes de susceptibilitat ha de ser incloure el màxim nombre d'esllavissaments en les classes de màxima susceptibilitat, al mateix temps intentant obtenir la mínima àrea espacial d'aquestes classes.

A gran escala, mapes de susceptibilitat en detall es poden basar en models geotècnics, com el tal·lús infinit amb trencament paral·lel, si els esllavissaments de la zona són lliscaments traslacionals en roques o sòls (on és aplicable el talús infinit). En aquests casos s'ha de fer una estimació dels paràmetres geotècnics i de pressió d'aigua.

El trencament dels talussos i vessants naturals està causat per la suma d'unes certes **condicions permanents** i uns **factors desencadenants**. Els factors permanents són característiques del terreny (com per exemple la litologia, els tipus de sòls, el pendent, el drenatge, la vegetació, etc) que evolucionen lentament (per exemple per erosió o meteorització) i porten el tal·lús a un estat poc estable. Els factors desencadenants poden ser tan les vibracions durant un terratrèmol com els augments del nivell freàtic i/o pressions d'aigua a causa de la infiltració de la pluja o la fusió de la neu. En els mapes de susceptibilitat només es reflecteixen els factors condicionants, mentre que el període de recurrència dels factors desencadenants es sol incloure en l'avaluació de la perillositat. (Fell et al., 2008)

2.2.1. CREACIÓ DE MAPES DE SUSCEPTIBILITAT

Els mapes de susceptibilitat es creen a partir d'inventaris d'esllavissaments i mapes geomorfològics desenvolupats a partir de fotos aèries, imatges de satèl·lit, i treball de camp. En realitat és una susceptibilitat relativa a la persona que està fent l'estudi. Això normalment porta a la obtenció de mapes molt subjectius i difícilment justificables o reproduïbles sistemàticament.

Una manera més objectiva de crear un mapa de susceptibilitat és correlacionant estadísticament un grup de factors (geològics i geomorfològics) amb les dades de zones inestables obtingudes en el mapa inventari. La contribució relativa dels factors que generen trencaments és avaluada i la superfície del terreny és classificada en dominis de diferents nivells de susceptibilitat. Finalment, els resultats

de la classificació són validats analitzant si la distribució espacial d'esllavissaments existents (mapa inventari) té lloc en les classes més inestables.

Aquests mètodes de correlació estadística incorporen models qualitius o quantitatius i analitzen les dades segons tècniques de diferents tipus (Fell et al, 2008).

2.2.1.1. Anàlisi heurística

Els mètodes heurístics es basen en el coneixement a priori dels factors que produeixen inestabilitat en l'àrea objecte d'investigació. Els factors són ordenats i ponderats segons la seva importància assumida o esperada en la formació d'esllavissaments (Carrara et al, 1995). El principal inconvenient radica en que en la major part dels casos, el coneixement disponible entre els factors ambientals que poden causar inestabilitat i els esllavissaments és inadequat i subjectiu, depenent de l'experiència de l'expert.

2.2.1.2. Anàlisi geomorfològica

Els mètodes geomorfològics es basen en la determinació de condicions d'inestabilitat de vessant mitjançant tècniques geomorfològiques, cartografia i zonificació. El principal avantatge és la validesa i el detall de l'anàlisi i mapa resultants, en el cas d'estar realitzats per un bon expert. L'inconvenient d'aquests mètodes és l'alt grau de subjectivitat depenent de l'experiència de l'autor.

2.2.1.3. Anàlisi probabilística

Les aproximacions probabilístiques es basen en les relacions observades entre cada factor i la distribució d'esllavissaments actual i passada (Carrara et al, 1995). S'utilitzen quan es disposa d'una abundant informació, tant qualitativa com quantitativa, aplicant-se la objectivitat del mètode. La potència dels mètodes estadístics depèn directament de la qualitat i la quantitat de les dades adquirides. El cost de l'adquisició d'alguns factors relacionats amb la inestabilitat de vessants és el principal inconvenient.

2.2.1.4. Anàlisi determinística

Els mètodes determinístics es fonamenten en mètodes basats en l'equilibri límit o en models numèrics tenint, doncs, una base física, el que és d'un gran avantatge respecte a altres mètodes. Les dades d'entrada són derivades d'assajos de laboratori (o, en cas que no es disposi de dades, s'ajusten amb criteri d'expert) i s'utilitzen per a determinar el factor de seguretat del vessant. Aquests mètodes mostren un grau de fiabilitat alt en el cas en que les dades utilitzades siguin correctes. El seu principal inconvenient és la seva baixa idoneïtat per zonificacions ràpides i àrees extenses (Van Westen, 1993; Santacana, 2001).

Aquests mètodes d'anàlisi de dades són aplicables a sistemes no basats en S.I.G. però l'ús d'aquests sistemes facilita el procés.

2.3. S.I.G.

Un S.I.G. (*Sistema d'Informació Geogràfica*) és una base de dades informatitzada que conté informació espacial. Un dels avantatges d'aquest sistema és poder manipular més fàcilment tota la informació geogràfica espacial i temàtica.

Les funcions principals que té un S.I.G. són l'entrada i codificació digital de la informació, procediments de depuració i neteja, gestió de la informació espacial, anàlisi i processament de les dades i per últim la representació gràfica i cartogràfica de la informació.

Actualment els S.I.G., permeten l'anàlisi de la susceptibilitat de trencada per esllavissades superficials així com la creació de mapes de susceptibilitat d'una manera sistemàtica, ràpida i eficient. L'aparició d'operacions dins el S.I.G. ha permès l'extracció de paràmetres morfològics i hidrològics del terreny a partir de Models Digitals d'Elevacions, que anteriorment eren molt costosos d'obtenir manualment.

Durant el treball s'ha hagut de fer ús d'un S.I.G., per a digitalitzar les dades de camp disponibles, com també per a generar noves dades i extreure relacions.

Per dur a terme aquesta tasca, el programa utilitzat ha estat l'ArcGis 9.2.

En aquest apartat es vol explicar breument què és un S.I.G., els avantatges d'utilitzar el programa informàtic ArcGis i per últim quines aplicacions té aquest mètode per a l'estudi que ens ocupa.

2.3.1. REPRESENTACIÓ DE LES DADES

En el treball s'han representat les dades a partir de mapes. Per a poder determinar cada punt de l'espai és necessari fer ús de la geocodificació de les dades, aquest procés consisteix en un punt que rep una etiqueta que l'identifica amb una posició espacial respecte d'algun punt comú o marc de referència. En l'estudi els punts són punts geogràfics expressats en cel·les de 15x15m i el marc de referència són les coordenades UTM ED50. Aquesta projecció també és denominada de GAUSS-KRÜGUER, i es basa en una projecció de Mercator en la que els meridians són tangents a un cilindre. La seva universalitat s'aconsegueix a base d'utilitzar diferents cilindres que corresponen a els meridians terrestres, separats 6º entre si.

2.3.2. MODELS I ESTRUCTURES DE DADES

En les dades és important tenir present que hi ha dos tipus d'estructures diferents. En primer lloc: les estructures de dades cartogràfiques, que registren únicament la geometria i en segon lloc hi ha les estructures de dades topològiques que a més de registrar les coordenades també registren les relacions topològiques entre cel·les.

Existeixen dues aproximacions bàsiques per a modelar l'espai en un S.I.G.: el Model Vectorial i el Model Ràster.

2.3.2.1. Model Vectorial:

Dos conceptes importants en aquest model són, la entitat geogràfica que és cada un dels elements individuals en un S.I.G., i una classe d'entitat que és el conjunt d'entitats que han de ser homogènies en la seva naturalesa i en la informació que les descriu. Els tipus d'entitats poden ser polígons (objectes de dues dimensions), línies (objectes d'una dimensió) o punts (objectes de 0 dimensions).

2.3.2.2. Model Ràster:

En el model Ràster els elements geogràfics es diferencien en funció d'un criteri de situació. L'espai es divideix en porcions de mida i forma iguals mitjançant la superposició d'una retícula regular, a continuació es registren les propietats de les porcions d'espai esmentades. El seu interès el centra en les propietats de l'espai, i no en la representació precisa dels elements que el formen, d'aquí la raó per la qual l'espai és representat per una sèrie d'elements discrets en forma de xarxa.

Els conceptes essencials per a un model Ràster, són els següents:

Cada una de les cel·les de la retícula, s'anomena **píxel**, i aquests es consideren indivisibles, a més de poder ser identificats pel número de columna i de fila. La resolució és la dimensió lineal mínima de la unitat més petita de l'espai geogràfic per la qual es recullen les dades.

Per a cada píxel es registra el nivell digital, que és el valor que el mapa analògic adopta.

La orientació és l'angle format per el Nord i la direcció de les columnes de la malla.

Els usos del format Ràster són molt diversos, com pot ser de mapa de fons per a mostrar dades i poder fer un millor interpretació. Un altre de les utilitats és com a imatge associada a un objecte del dibuix. El model Ràster també es pot utilitzar per a modelar una superfície; en cada un dels píxels de la malla es troba associada una variable, com per exemple la alçada respecte al mar del punt en qüestió.

2.3.3. S.I.G. I MAPES DE SUSCEPTIBILITAT

Amb les dades disponibles en un lloc, diversos mètodes es poden aplicar per establir correlacions i establir nivells de susceptibilitat i perill. Generalment s'utilitzen dades vectorials dels factors clau, com polígons de zones esllavissades, geologia, geomorfologia o altres. Es poden incloure també altres dades com tensions, pressions d'aigua, pluja, etc. La dada Ràster clau és el model digital del terreny (DEM). Llavors el SIG pot obtenir altres tipus de factors a partir del DEM, com ara el pendent, la orientació, la conca de drenatge, la distància als curs d'aigua principal, etc.

Un model S.I.G. pot ser usat per combinar una sèrie de mapes o factors d'entrada utilitzant una funció per produir un mapa de sortida. La funció pot prendre moltes

formes, incloent regressió lineal, regressió múltiple, anàlisis condicionals i anàlisis discriminants, etc.

3. ZONA D'ESTUDI

3.1. CARACTERITZACIÓ GEOGRÀFICO-GEOLÒGICA

3.1.1. CONCA DE TREMP

La conca de Tremp forma part del Prepirineu, zona geogràfica que correspon a la unitat geològica de la Zona Sud-Pirinenca. Aquesta unitat, situada sobre la conca de l'Ebre, està limitada per una estructura de làmines encavalcants, entre elles el Montsec (límit de la Conca de Baix, subdivisió de la Conca de Tremp). La Conca de Tremp se subdivideix en diverses regions separades per la Noguera Pallaresa, riu que travessa la comarca de N a S (des de l'Estret de Collegats a l'extrem N, fins a l'estret de Terradets a la banda S).

La zona d'estudi (Figura 3) es troba situada a la Conca de Dellà, una part de la Conca de Baix que s'extén des del Port de Comiols (1102 m) cap al NW. En aquesta zona s'hi troben diversos pobles (Sant Salvador, Benavent, Covet) i carreteres, que es veuen amenaçats pels fenòmens d'inestabilitat.

SITUACIÓ DE LA ZONA 1 (SANT SALVADOR DE TOLÓ)



Figura 3: Situació de la zona d'estudi dins el mapa de Catalunya.

3.1.2. ZONA D'ESTUDI

La zona d'estudi (Figura 4) té una superfície de 59,5 km². Es va escollir com a zona pilot per al projecte MPRGC perquè s'hi localitzen varis processos de vessant, que presenten interès en relació a aspectes com la interrelació de processos, la afectació d'infraestructures, etc.

ZONA 1: SANT SALVADOR DE TOLÓ

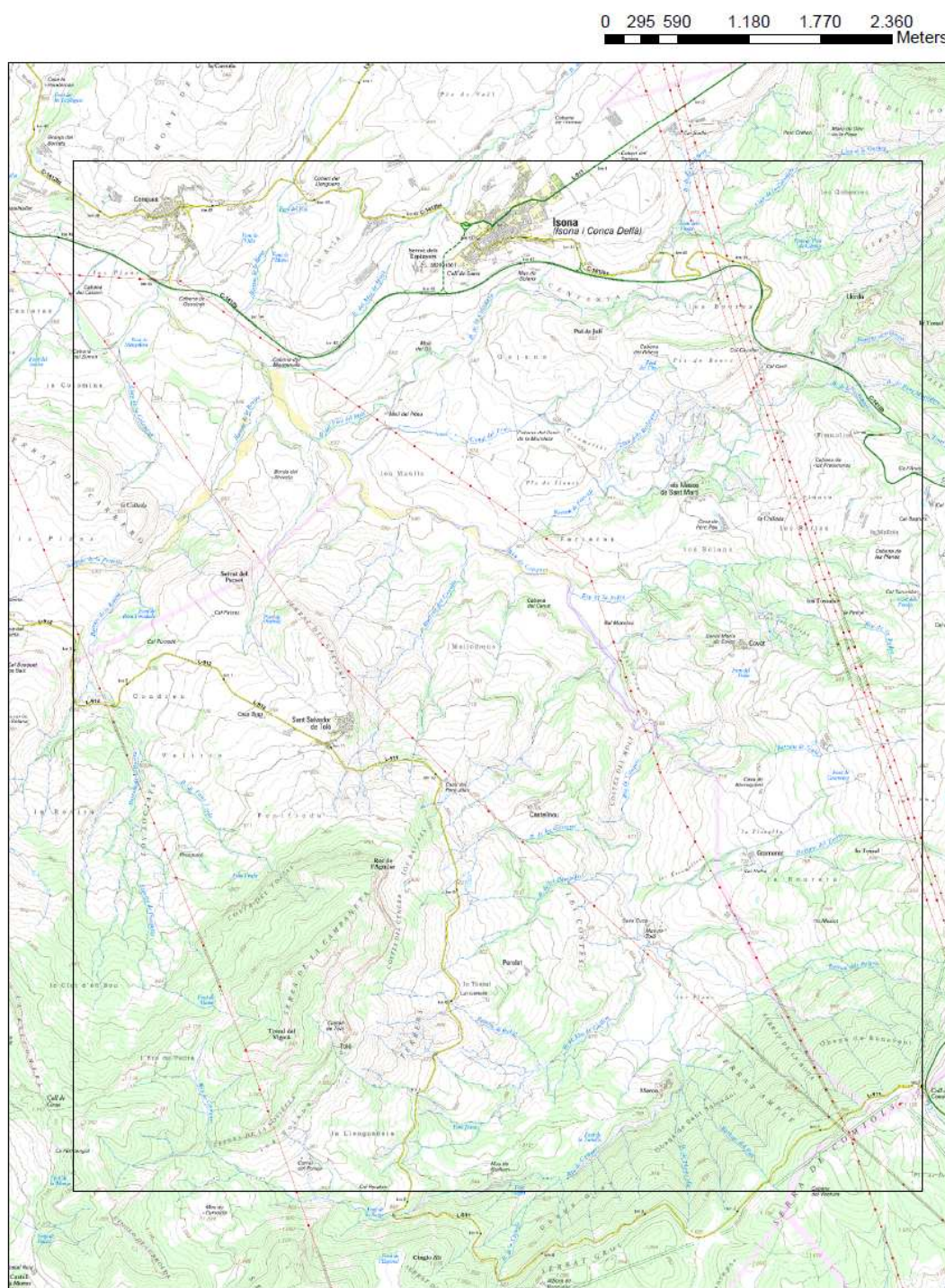


Figura 4: Mapa topogràfic de la zona d'estudi.

Es tracta d'una zona amb substrats Mesozoics i Cenozoics (Figura 5). A part del substrat, a la zona s'hi troba una gran extensió de coluvió de diferents tipus (segons el substrat d'origen i el procés que l'ha generat), fruit dels processos de la zona (no només d'inestabilitat de vessant, també dinàmica fluvial i torrencial). Els materials del substrat són:

- Conglomerats de l'Oligocè
- Calcàries amb alveolines de l'Eocè
- Margues de l'Eocè
- Lutites versicolors amb gresos i conglomerats del Paleocè
- Argiles vermelles Maastrichtià
- Calcàries del Campanià

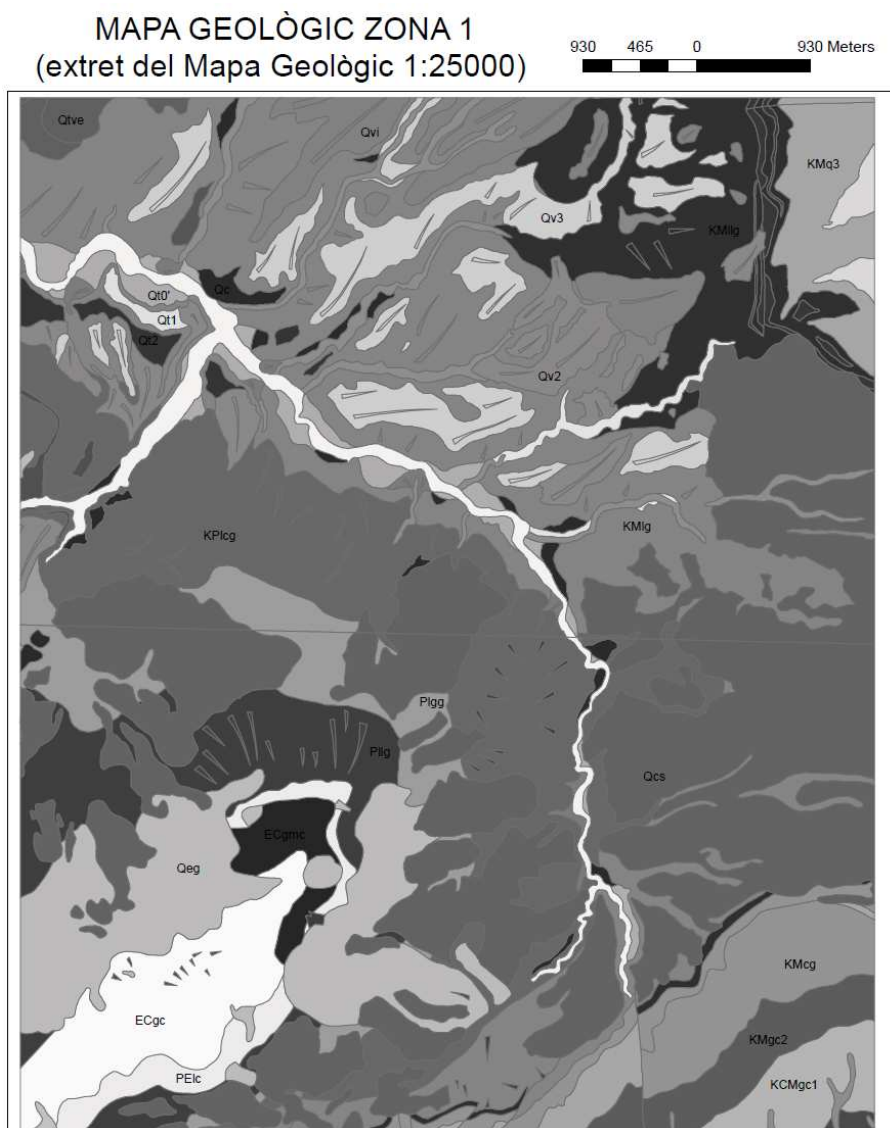


Figura 5: Mapa geològic de la zona d'estudi

Els materials del substrat tenen diferents propietats: en alguns punts aflora substrat principalment dur, en altres aflora substrat tou o intercalacions de materials de diferent resistència. Degut a aquestes variacions, en la zona d'estudi s'hi localitzen varis tipus de processos.

Els processos que es desencadenen potencialment a la zona són:

- Despreniments rocosos de calcàries i conglomerats (Figura 6)



Figura 6: Despreniments rocosos, lliscaments i colades de terra a Sant Salvador de Toló
(Fotografia: Jordi Corominas)

- Lliscaments superficials i corrents d'arrossegalls (Figura 7)



Figura 7: Lliscament superficial a Isona, 1996
(Fotografia: Jordi Corominas)

- Lliscaments planars (Figura 8)



Figura 8: Lliscament traslacional, Sant Salvador de Toló 1994 (Fotografia: Jordi Corominas)

- Lliscaments rotacionals i colades de fang
- Retrogressió de capçaleres
- Soscavació de marges i erosió intensa
- Crescudes torrencials

3.2. DADES DISPONIBLES

3.2.1 *FONTS CARTOGRÀFIQUES*

La informació de base que s'ha utilitzat per crear i validar els diferents mapes a la zona estudi és la següent:

- Base topogràfica 1:10.000.
- Fotografies aèries. 1957 (1:33.000), 1975 (1:18.000) i 1987 (1:22.000).
- Ortofotomapa 1: 5.000.
- Mapa geològic 1: 25.000
- Model digital d'elevacions.
- Mapa de camp (elaborat per Ramon Copons) 1:10.000.

El mapa de camp inclou un mapa litològic de camp i un mapa inventari d'esllavissaments (entre d'altres aspectes, que no s'utilitzen en aquesta tesina).

Les característiques de les fonts cartogràfiques que s'han fet servir a la zona de treball de Sant Salvador de Toló es mostren a la següent taula.

Taula 3: Relació de la informació de les fonts bibliogràfiques

Tipus de documentació	Format	Any	Escala	Resolució
Base topogràfica (IGC) 1:10.000	Paper / Digital (dgn)	Versió més actual	1:10.000	
Fotografies aèries.(ICC)				
1957	Paper	1957	1:33.000	
1975	Paper	1975	1:18.000	
1987	Paper	1987	1:22.000	
Ortofotomapa 1: 5.000 (ICC)	Digital	2005	1:25 000	
Mapa geològic 1: 25.000 (IGC)	Paper Digital (shapefile)	A partir de1990	1: 25.000 1: 25.000	
Model Digital d'Elevacions (IGC)	Raster		MDT 5 x 5	Pixel : 5m
Mapa de camp	Paper / Digital	2008	1:10.000/1:5.000	

Cal remarcar que, tal i com s'exposa a l'apartat 2.3.3. S.I.G. i mapes de susceptibilitat), a partir de certes operacions es poden obtenir fàcilment mapes derivats del MDE. En aquest treball ha calgut utilitzar mapes de:

- Orientacions (Aspect)
- Pendants (Slope)
- Direcció de drenatge superficial (Flow direction)
- Conca de drenatge (Flow accumulation)

3.2.2. DIGITALITZACIÓ DEL MAPA DE CAMP

Els mapes de camp (Copons, 2008) a escala 1:10.000 i 1:5.000 s'han escanejat amb una resolució entre 300 i 400 dpi. Posteriorment s'han georeferenciat amb ArcGis 9.2 amb errors RMS inferiors a 2 m.

A continuació s'enumeren les diferents capes que s'han digitalitzat amb ArcGis 9.2 a partir dels mapes de camp georeferenciats.

Tots el mapes generats tenen com a sistema de referència el Datum Europeu de 1950, amb projecció UTM i zona 31N.

Els mapes vectorials es troben en format shapefile i els mapes amb estructura Ràster tenen un format GRID d'ArGis amb una mida de píxel de 5*5 metres.

3.2.2.1. Dades Vectorials/Ràster creades a partir del Mapa de Camp

Unitats Esllavissaments mapa vectorial de polígons creats a partir del mapa i/o fitxes de camp. Les unitats (cada fitxa de camp descriu una unitat d'esllavissament) són polígons creats a partir de l'agrupació de polígons de subunitats. Els atributs associats a aquesta capa són:

ID FITXA: Codi identificador de la fitxa a la qual fa referència aquesta unitat (codi B, C, D de la Figura)

NOM FITXA: Nom de l'esllavissament segons la fitxa (codi A de la Figura 9).

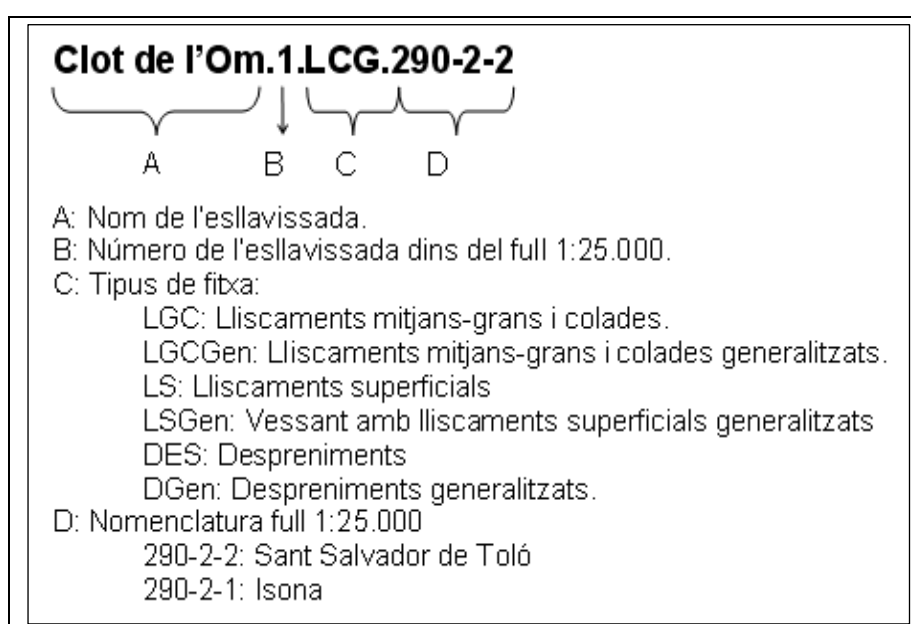


Figura 9: Nomenclatura de l'identificador numèric i el nom dels diferents fenòmens identificats a les fitxes de camp.

SubUnitats Esllavissaments¹: mapa vectorial de polígons digitalitzat a partir del mapa de camp. Els atributs associats a aquesta capa són:

ID FITXA: Codi identificador de la fitxa a la qual fa referència aquesta sub-unitat (codi B, C, D de la Figura).

NOM FITXA: Nom de l'esllavissament segons la fitxa (codi B, C, D de la Figura).

PRESERVA: estat de preservació i/o activitat de les morfologies cartografiades

¹ En els casos en que la subunitat coincideix amb la unitat la fitxa és la mateixa i per això el codi i el nom coincideixen.

TIPUS: Atribut de text que diferencia els lòbuls, les plataformes:

- lobul: Lòbul d'esllavissament
- plataforma: Plataforma rotacional.

Litologia de camp: capa vectorial de polígons amb informació de la litologia

LITO: Camp de text i **ID_LITO:** Camp numèric. Es descriuen els seus valors a la Taula 4.

Taula 4: Litologies que s'han identificat al mapa de camp.

Valor	Lito	Descripció
1	Dur:	Substrat dur, és a dir: calcari, granític, conglomeràtic, gresos massius
2	Alternança:	Substrat format per alternances de capes centimètriques a mètriques dures i toves: flysch, etc
3	Tou:	Substrat tou, és a dir: lutites, margues...
4	Granular:	Formació superficial o col·luvió granular
5	Fi:	Formació superficial o col·luvió fi, lutític bàsicament
6	Esllavissat	Material esllavissat

Zones estables: Mapa vectorial creat a partir de la observació de MDE, SLOPE, ASPECT, mapa geològic, etc. Consta de 4 elements que pretenen mostrar zones on no s'han observat esllavissaments, que tinguin característiques homogènies (veure 4.1.2). No té atributs.

3.2.3. CREACIÓ DELS MAPES DE SUSCEPTIBILITAT

En el marc de la col·laboració del Departament en el projecte de MPRGC, es creen diversos mapes de susceptibilitat. Les metodologies emprades són:

- SINMAP
- IIS
- La pròpia metodologia proposada per l'IGC

Cada metodologia requereix una certa informació de base. Es realitzaren mapes a partir d'informació de base obtingudes de diferents fonts, a fi de contrastar els resultats (

Taula 5). Per exemple: les 3 tècniques (SINMAP, IIS i IGC) necessiten un mapa litològic de base. Es disposa de dos mapes litològics: el propi mapa geològic del IGC i el mapa litològic de camp.

Aquesta tesina pretén validar les metodologies i els documents de base.

Taula 5: Mapes de susceptibilitat creats. Es pot veure el mapa base i la metodologia emprada, com també el nom del mapa de susceptibilitat.

Mapa base	Reclassificació (taula de l'Annex)	Mètode aplicat	Nom del grid en DVD (nom original)
Mapa geològic 1:25000	Reclassificat (Taula 19)	IGC	GEOL_IGC
	Reclassificat (Taula 19)	SINMAP	GEOL_SIN
	Reclassificat (Taula 19) i incorporant-li les zones esllavissades del mapa geomorfològic	SINMAP	GEOL_ESLL_SIN
	Reclassificat (Taula 19)	IISa	GEOL_IISA
	Reclassificat (Taula 19)	IISb	GEOL_IISB
Mapa litològic de camp 1:10000	reclassificat amb opció A (Taula 18)	IGC	GEOM_IGC_A
	reclassificat amb opció B (Taula 18)	IGC	GEOM_IGC_B
	No	SINMAP	GEOM_SIN
	No	IISa	GEOM_IISA
	No	IISb	GEOM_IISB

Per reproduir les diferents propostes amb el Mapa Geològic de Catalunya a escala 1:25.000 de base, s'ha hagut de fer una reclassificació d'aquest. En cada cas s'ha realitzat una reclassificació en les classes convenients que requereix el mètode (per a més informació sobre la reclassificació veure Annex).

3.2.3.1. SINMAP

SINMAP (Stability INdex MAPping) ha estat desenvolupat per a analitzar la susceptibilitat d'esllavissades superficials a escala regional mitjançant l'eina S.I.G. (Pack et al., 1998). El programa combina la tècnica del talús infinit amb un simple model hidrològic utilitzant TOPMODEL (Beven i Kirby, 1979). El model hidrològic determina el grau de saturació, w , en cada cel·la d'un Ràster i posteriorment el Factor de Seguretat (FS) es calcula mitjançant el criteri de Mohr-Coulomb

$$FS = \frac{C_{dl} + \cos \theta \left[1 - w \frac{\rho_w}{\rho_s} \right] \tan \phi}{\sin \theta}$$

, on C_{dl} és la cohesió adimensional, ρ_w és la densitat de l'aigua, ρ_s és la densitat del sòl i ϕ és el angle de fricció. La cohesió adimensional es calcula amb

$$C_{dl} = C / (h \rho_s g)$$

on C és la cohesió del sòl i g és la gravetat. El model hidrològic que determina el valor de w inclou diverses consideracions:

- L'escolament superficial segueix el màxim pendent, el que permet el càlcul de l'àrea conca específica, a , de cada cel·la d'un model digital d'elevació (MDE), que és una funció de l'àrea conca i d'una longitud (Beven i Kirby, 1979).
- El cabal, q , en cada punt està en equilibri en una constant recàrrega, R
- La capacitat de flux lateral és en cada punt $T \sin \theta$, on θ és el pendent i T és la transmissivitat que es defineix com el producte de la permeabilitat, K , i el grossor del sòl, h .

Les primeres dues consideracions impliquen que la descàrrega lateral és $q = Ra$, mentre la tercera consideració determina el valor de w de la següent manera:

$$w = \min \left(\frac{Ra}{T \sin \theta}, 1 \right)$$

Finalment cal seleccionar els valors de tres paràmetres geomecànics: angle de fricció, cohesió adimensional i la relació T/R , que representa una informació

hidrogeològica-climatològica. Un avantatge de SINMAP és la possibilitat de seleccionar aquests valors mitjançant un rang amb un mínim i un màxim. D'aquesta manera, el programa calcula una probabilitat de trencament, depenent del factor de seguretat, que s'indica amb un Índex d'Estabilitat (Stability Index, SI). Per exemple en el cas que FS és major que 1 per a tots els paràmetres seleccionats entre el mínim i el màxim, el valor de SI es fixa amb el valor de FS obtingut amb el mínim de C_{dh} , ϕ i T/R (per a més informació, veure (Pack et al., 2005).

La selecció dels valors dels paràmetres ha estat un procés iteratiu comparant diferents mapes resultants obtinguts mitjançant SINMAP. Al principi s'han determinat els valors amb dades existents de la resistència dels materials ubicats en la zona d'estudi, les seves propietats geològiques/hidrogeològiques i dades climatològiques. També s'han consultats diverses publicacions on es ha aplicat SINMAP en altres zones del món. Al final, el calibratge dels paràmetres s'ha centrat en els valors de la cohesió adimensional i l'angle de fricció, ja que el paràmetre hidrogeològic-climatològic T/R inclou massa variabilitat en la seva definició i per això una certa inseguretat. Com a solució s'ha fixat aquest paràmetres amb el valor estàndard que proposa els autors de SINMAP pels càlculs.

Durant el procés iteratiu s'han adaptat els valors per definir els valors finals, llistats en la Taula 6 . Els materials de tipus "substrat" tenen una resistència molt alta per impedir una possible ruptura superficial, ja que SINMAP no està desenvolupat per ruptures en massissos rocosos.

Taula 6: Rangs de valors finalment seleccionats pels càlculs mitjançant SINMAP.

Descripció de la litologia	Codi mapa geom	Codi mapa geol	T/R (m)	C _{adim} (-)	Angle fregament (°)
Substrat: dur	1	1	2000-3000	10	30 – 40
Substrat: alternat dur-tou	2	2	2000-3000	9 – 10	25 – 30
Substrat: tou	3	3	2000-3000	0 – 0.9	15 – 25
Col·luvió granular	4	4	2000-3000	0	30 – 40
Col·luvió fi	5	5	2000-3000	0 – 0.6	10 – 20
Terreny esllavissat	6	6	2000-3000	0	8-10

SINMAP classifica els valors de *SI* en diferents classes segons la susceptibilitat. En la Taula 7 es descriu cada classe de *SI* i el seu significat. També es pot observar el grau de susceptibilitat que s'ha aplicat durant aquest treball.

Taula 7: Classificació de l'Índex d'estabilitat, *SI*, el seu significat i el grau de susceptibilitat aplicat en aquest treball.

Valor <i>SI</i>	Valoració general	Descripció	Susceptibilitat proposada
$SI > 1.5$	Estable	Rang de paràmetres mai causa inestabilitat	MOLT BAIXA
$1.5 > SI > 1.25$	Moderadament estable	Rang de paràmetres no pot causar trencament	BAIXA
$1.25 > SI > 1.0$	Quasi estable	Rang de paràmetres no pot causar trencament	BAIXA
$1.0 > SI > 0.5$	Llindar inferior	Meitat pessimista per a causar trencament amb el rang de paràmetres	MITJANA
$0.5 > SI > 0.0$	Llindar superior	Meitat optimista per a causar trencament amb el rang de paràmetres	MITJANA
$0.0 > SI$	Inestable	Rang de paràmetres mai calcula estabilitat	ALTA

Per a l'aplicació de SINMAP es necessiten tres principals informacions en format digital:

- un model digital d'elevació, *MDE*, per a calcular els valors de q i a en cada cel·la
- un mapa geològic, geotècnic, de cobertures de sòls o de formacions superficials per a assignar els valors de C_{dl} , ϕ i T/R en cada regió de la zona d'estudi. Aquest mapa es transforma en un Ràster de calibratge.
- un inventari de lliscaments observats en la zona d'estudi per a calibrar i verificar els valors seleccionats (aquesta informació no es necessària, però facilita una calibració i verificació dels resultats)

El procediment general de SINMAP inclou un primer càlcul del valor *SI* en cada cel·la de la zona d'estudi mitjançant el *MDE* i el ràster de calibrat. El mòdul estadístic de SINMAP genera posteriorment diverses dades per a avaluar aquests resultats inicials, com per exemple taules o un gràfic "àrea conca - pendent".

3.2.3.2. IIS

A partir de l'Índex de Vulnerabilitat del Substrat (IVS), que es va preparar per al Departament de Política Territorial i Obres Públiques i Departament de Medi Ambient i Habitatge de la Generalitat de Catalunya (2004), es proposa un algorisme de càlcul de l'anomenat Índex d'Inestabilitat del Substrat (IIS), que depèn de la litologia i del pendent del terreny. L'algorisme de càlcul relaciona aquest els dos paràmetres més significatius, de manera que permet una valoració qualitativa de la inestabilitat del substrat. En el cas de l'IIS que es presenta, aquesta valoració es fa mitjançant una senzilla discretització dels resultats quantitatius procedents de la interacció dels paràmetres que inclou l'algorisme.

La combinació dels dos paràmetres: litologia (lito) i pendent (pend) que donen lloc a l'índex IIS no s'ha fet de manera lineal. S'ha tingut en compte el fet que la causa primera de la inestabilitat és la presència de litologies susceptibles.

Taula 8.: Valors dels paràmetres de l'índex d' inestabilitat del substrat

Litologia	Valor	Pendent	Valor
Sd: substrat dur	0	0-8°	0
St/sa: substrat tou i substrat alternat dur-tou	2	8 - 15°	1
Colg: col·luvió granular	1	15 - 25°	2
Colf: col·luvió fi	3	>25	3
Es: terreny esllavissat	4		

Fent servir el mateixos valors dels paràmetres de litologia (Taula 8) i de pendent es proposen dues expressions diferents per calcular l'Índex d'Inestabilitat del substrat.

Opció A

$$IIS = 1 + \frac{\left[(lito + 1)^2 * (pend + 1) - 1 \right]}{31}$$

S'incorpora, per tant, la interpretació experta en els resultats del model. Això proporciona un indicador eloqüent i aparentment molt senzill amb un rang de valors de que va d'1 a 5.

En relació a la representació cartogràfica de l'índex, els valors quantitatius de l'IIS s'agrupen i els atribueix una intuïtiva gamma cromàtica que van del verd fins al vermell per identificar el concepte d'inestabilitat (Taula 9).

Taula 9: Interval·ls de les classes d'inestabilitat pels valors obtinguts segons Opció A

Rangs- IIS	Inestabilitat
1,0 - 1,39	Molt baixa
1,4 - 2,09	Baixa
2,1 - 2,99	Mitja
>= 3,0	Alta

Opció B

Una altra variació de l'IIS anterior es fa amb la següent expressió, utilitzant els mateixos valors de litologia i pendent de la Taula 9.

$$IIS = 1 + 3 * \frac{\left[(lito + 1)^2 * (pend + 1) \right]}{64}$$

En aquest cas els valors de l'índex es reclassifiquen d'acord amb la Taula 10.

Taula 10: Interval·ls de les classes d'inestabilitat pels valors obtinguts segons Opció B

Rangs- IIS	Inestabilitat
1,0 - 1,59	Molt baixa
1,6 - 2,59	Baixa
2,6 - 3,39	Mitja
$\geq 3,4$	Alta

3.2.3.3. IGC

En el cas dels moviments de vessant, l' IGC proposa una aproximació automàtica a les zones de susceptibilitat mitjançant anàlisi SIG. Aquest anàlisi es realitza efectuant el creuament dels pendents característics per determinades litologies i tipus d'inestabilitats en un Model Digital del Terreny (MDT) amb les característiques litològiques principals de les unitats geològiques representades al Mapa Geològic de Catalunya a escala 1:25.000. Aquest creuament s'efectua mitjançant una matriu (Taula 11) que relaciona els dos paràmetres i es fa una posterior comprovació al camp de les zones resultants.

Taula 11: Matriu de relació de la susceptibilitat de desenvolupament de moviments del terreny amb les característiques geològiques de les diferents unitats aflorants, la tipologia de moviment i el pendent del terreny (IGC, 2006)

Litologia	Tipologia moviment	Pendent terreny						
		>45°	35°-45°	30°-35°	20°-30°	10°-20°	6°-10°	<6°
Roques massives (Granits, calcàries, conglomerats, ...)	Despreniments, Bolcades	Mitjana	Baixa					
Roques massives amb intercalacions /Graves cimentades	Despreniments, Bolcades	Alta	Mitjana	Baixa				
Alternances litològiques/Graves i sorres cohesives/Tarteres	Despreniments, Bolcades, Lliscaments Traslacionals		Alta	Mitjana	Baixa			
Alternances litològiques amb predomini argilós/Graves i sorres poc cohesives	Despreniments, Bolcades, Lliscaments Traslacionals i Rotacionals, Fluxos			Alta	Mitjana	Baixa		
Dipòsits lutítics	Lliscaments rotacionals, fluxos				Alta	Mitjana	Baixa	

4. ANÀLISI

A la zona d'estudi s'hi ha localitzat més d'un tipus de moviments de massa.

- Lliscaments: traslacional i rotacional
- Colades
- Moviments complexos
- Despreniments rocosos

En aquesta tesina es pretenen estudiar els tres primers tipus. Els despreniments rocosos tenen un comportament substancialment diferent als tres anteriors, és per això que no es tracten en aquest estudi.

En aquest capítol es vol fer un anàlisi dels esllavissaments identificats en el mapa inventari. Per a simplificar l'estudi, observant la distribució dels esllavissaments de la zona (Figura 10), s'ha considerat una única tipologia. Així doncs, no s'ha fet cap distinció ni durant la caracterització estadística, ni durant l'anàlisi de l'activitat.

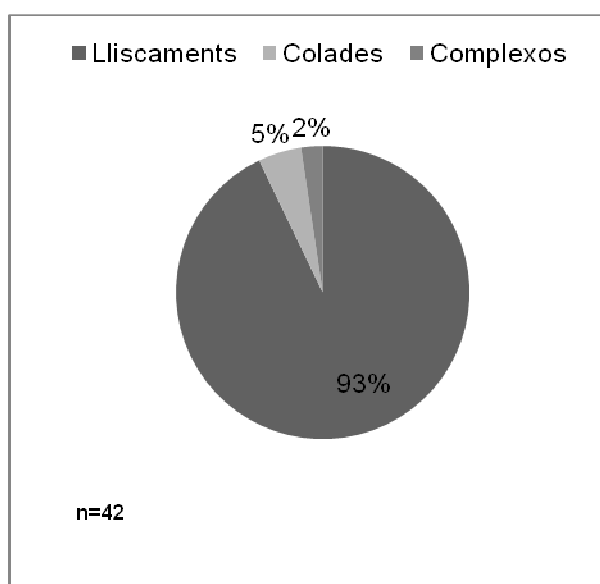


Figura 10: Classificació dels n esllavissaments identificats a la zona d'estudi, segons la seva tipologia.

4.1. CARACTERITZACIÓ ESTADÍSTICA DETALLADA

Amb les dades disponibles al S.I.G., que s'han utilitzat per crear els mapes de susceptibilitat, s'ha fet una caracterització geogràfica, geològica i geomorfològica de les esllavissades a la zona d'estudi. Les dades que s'han analitzat són:

Àrea: Les dades d'àrea permeten tenir una idea de la magnitud dels esllavissaments de la zona d'estudi.

Les dades s'obtenen de la taula d'atributs de la capa de SubEsllavissaments o UnitatsEsllavissament, segons l'estadística. L'àrea, calculada amb tècniques S.I.G., no correspon a l'àrea real ja que està calculada sobre el pla i no sobre la superfície del terreny.

Altimetria: L'altura d'un talús és un factor clau en la seva estabilitat. Cal estudiar el desnivell de les zones susceptibles per conèixer els valors habituals d'inestabilitat de la zona.

A partir del Model Digital del Terreny s'obtenen les cotes de les zones desitjades.

Orientació: Alguns paràmetres relacionats amb la orientació com per exemple l'exposició a la llum solar, la incidència de vents secs, la pluja i les discontinuïtats geològiques poden controlar la ocurrència dels esllavissaments (Dai et al., 2001). Es vol estudiar la relació de les inestabilitats amb la orientació de l'estratificació. En futures investigacions es podria buscar correlacions amb alguns dels altres factors esmentats.

Les dades s'obtenen directament del mapa d'orientacions (ASPECT).

Pendent: El principal paràmetre de l'estabilitat dels vessants és el pendent. Per aquest motiu generalment s'utilitza per a preparar mapes de susceptibilitat. L'objectiu de l'anàlisi del pendent és determinar en quin rang de pendents tenen lloc de forma més habitual els esllavissaments.

De nou, directament del mapa de pendents (SLOPE) es poden obtenir les dades.

Les estadístiques dels factors esmentats s'extreuen a partir de l'eina *Zonal*² (Spatial Analyst, ArcGis). La taula resultant conté dades de valor màxim, mínim, mitjana, desviació estàndard, rang i suma.

Els factors exposats a continuació no s'han pogut tractar directament amb l'eina *Zonal*. En cada cas s'explica com s'han obtingut les dades estadístiques.

² Zonal Statistics as Table: Sintetiza els valors d'un ràster, compresos en zones d'un altre arxiu de dades i exporta els resultats a una taula.

Litologia: El tipus de material i les propietats resistents d'aquest són els que condicionen l'estabilitat d'un vessant. Les dades s'han extret del mapa geològic que s'ha utilitzat per a crear els mapes de susceptibilitat. La caracterització estadística es fa segons els 5 grups litològics d'una de les reclassificacions fetes sobre aquest mapa.

Per a obtenir aquestes dades ha calgut utilitzar les màscares creades per a cada grup d'esllavissaments (unitats esllavissament) i extreure les dades del ràster de litologia mitjançant l'eina *Extract by Mask* (Spatial Analyst, ArcGis).

Àrea de drenatge: Un paràmetre important que controla l'estabilitat d'un vessant és el grau de saturació del material. La proximitat del vessant a les estructures de drenatge és un factor important per a l'estabilitat (Yalcin, 2007). El pas de l'aigua pot provocar tant erosió dels talussos com saturació de la part de baix del material provocant un augment del nivell d'aigua (Dai et al., 2001)

Les dades s'obtenen del mapa d'àrees de contribució. En aquest ràster cada píxel té associat el nombre de píxels que drenen a ell. Aquest ràster es crea amb l'eina *Flow Accumulation* (ArcGis).

Si es vol estudiar l'àrea de la conca de drenatge d'una zona (en aquest cas els esllavissaments), s'ha de tenir en compte que dins aquesta àrea, hi ha interacció entre els píxels. Així doncs, cal evitar que es repeteixin les contribucions de les àrees de drenatge dels píxels contigus. S'ha optat per assignar a cada esllavissament la suma de l'àrea de la conca de drenatge dels píxels de cota màxima.

Aquest anàlisi s'ha realitzat en (Figura 11):

- Zones inestables: Àrees on s'han produït esllavissaments, identificats en el mapa inventari.
- Zones estables: Àrees on no s'han identificat esllavissaments. El criteri usat per escollir aquestes zones és la homogeneïtat de característiques topogràfiques, geològiques i geomorfològiques.

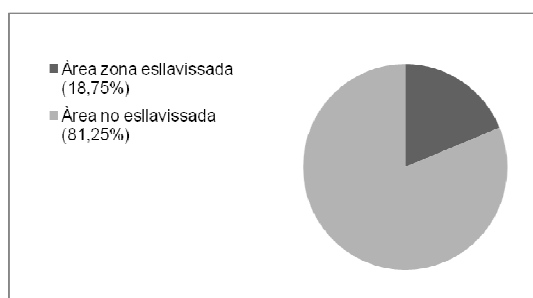


Figura 11: L'àrea total de la zona és de 59,5 km². Segons el mapa inventari, en un 18,75% d'aquesta àrea s'hi ha identificat esllavissaments, mentre que en un 81,25% no se n'hi ha identificat.

Els objectius són:

- Establir rangs de valors habituals de les variables estudiades a la zona d'estudi.
- Comparar els resultats obtinguts en zones inestables i zones estables.
- Establir relacions de factors, en cas que es pugui

4.1.1. ZONES INESTABLES (ESLLAVISSADES)

El mapa inventari ha recollit un total de 109 esllavissaments, agrupats en 42 unitats d'esllavissament (Figura 12).

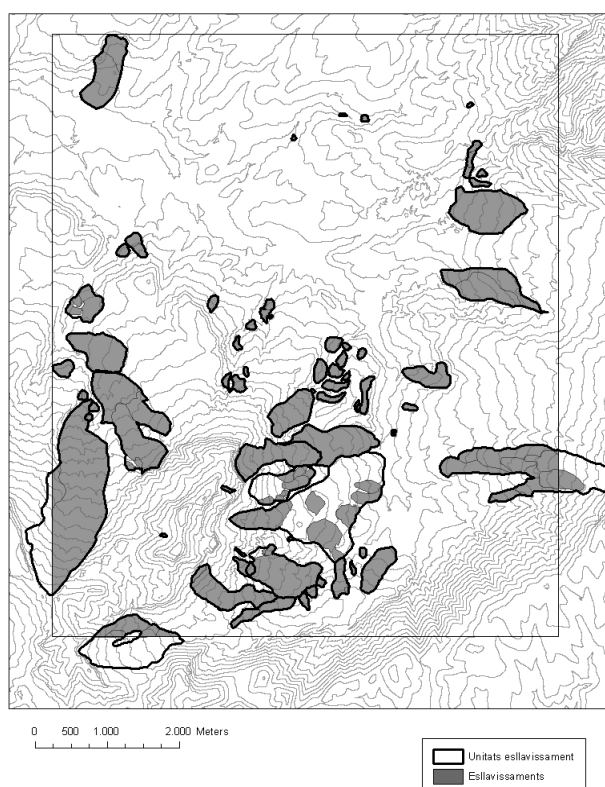


Figura 12: Mapa inventari d'esllavissaments. S'observen els límits de la zona d'estudi.

4.1.1.1. Àrea

Les dades d'àrea dels 109 esllavissaments estudiats mostren que un 80% d'aquests no supera els 0,12 km². Només entorn a un 2% superen els 0,4 km² i tan sols un dels 109 esllavissaments té àrea major de 1 km² (Figura 13).

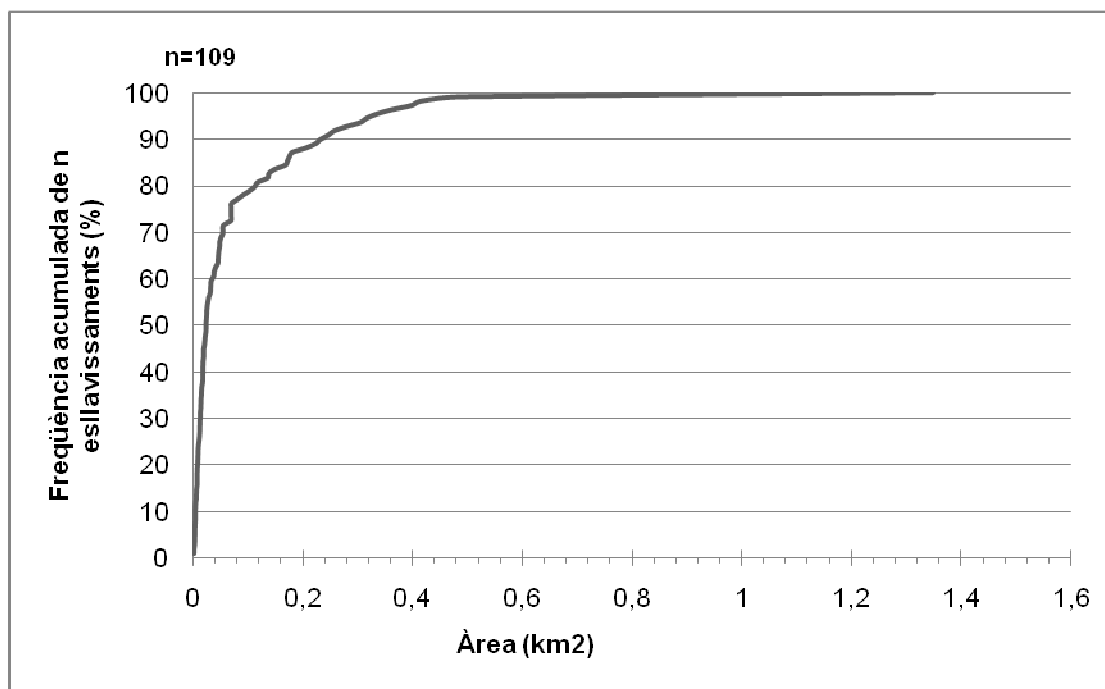


Figura 13: Àrea dels 109 esllavissaments identificats en el mapa inventari.

4.1.1.2. Altimetria

Es pot observar que la zona alta dels esllavissaments (cota màxima) es situa majoritàriament (en més del 95% dels casos) per sobre els 600 m. De la mateixa manera, analitzant les zones del peu o dipòsit (cota mínima) es pot veure que (aproximadament en la mateixa relació de % del cas anterior) sol trobar-se a una cota inferior a 800 m (Figura 14). A més, si s'analitzen les dades de desnivell s'observa un rang habitual que no supera els 100 m (Figura 15).

La unió de totes aquestes dades situa la majoria dels esllavissaments en una franja altimètrica entre 600 i 800 m. Segons la geomorfologia de la zona d'estudi (descrita en el capítol 3), s'identifiquen tres subzones diferenciades altimètricament:

- Les zones on aflora el substrat dur, amb relleu acusat i cotes entorn als 1000 m o superiors
- La zona de vessants irregulars, relleu suau, on aflora una formació superficial de diferents característiques segons l'àrea. Sobre aquesta formació superficial apareixen els episodis d'esllavissament. Aquesta àrea es situa entre cotes de 600 i 800 m.

- Una zona més baixa associada al curs del riu principal, on afloren els materials propis de les terrasses fluvials.

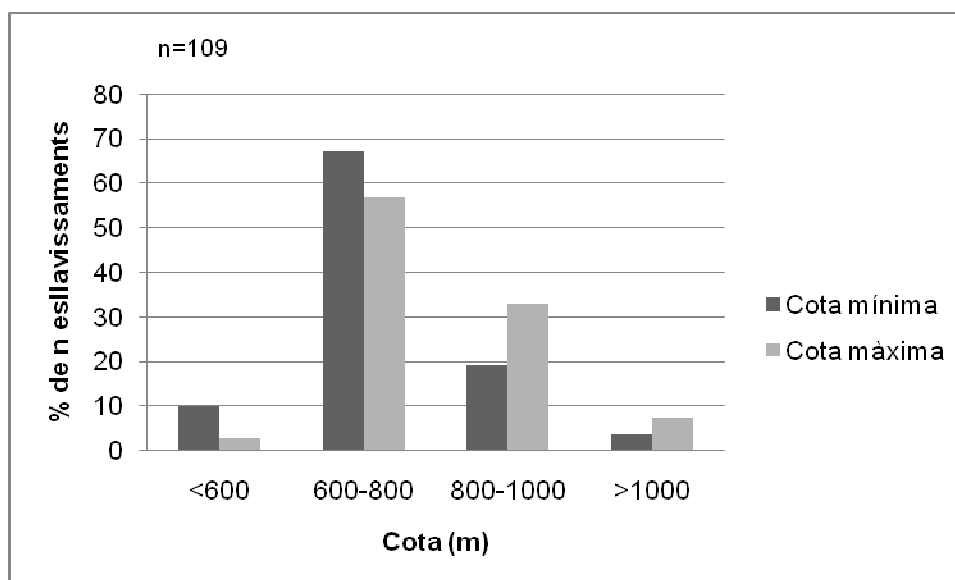


Figura 14: Cotes màxima i mínima dels n esllavissaments identificats en el mapa inventari

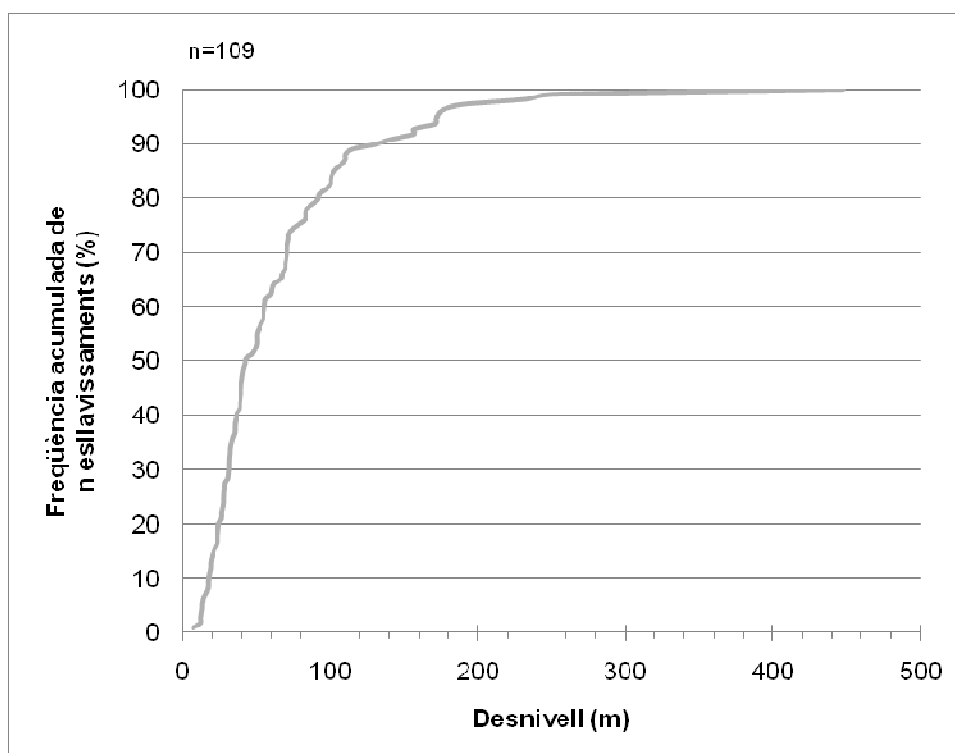


Figura 15: Desnivell màxim dels n esllavissaments identificats en el mapa inventari.

De la mateixa manera que en l'àrea s'observava una dada clarament fora del rang habitual (un esllavissament de més d'un km² d'àrea), en el cas de l'altimetria també se n'identifica alguna. Concretament es tracta d'un esllavissament amb un desnivell d'uns 450 m aproximadament. S'ha plantejat una correlació entre les dades d'àrea i altimetria (concretament àrea-desnivell) per tal de comprovar si la dada anòmla en ambdós factors correspon al mateix esllavissament. Alhora es pretén observar si la tendència és trobar desnivells majors en esllavissaments d'àrea més gran i viceversa.

En els esllavissaments que tenen àrea i desnivell dins els rangs habituals (àrea inferior a 0,12 km² i desnivell inferior a 100 m), la relació és poc clara ja que hi ha molta dispersió en les dades. En els casos que superen aquests rangs s'observa que en general, en créixer l'àrea creix el desnivell. La tendència general s'aproxima bé per una funció polinòmica (s'ha utilitzat el cas lineal ja que és més simple i la diferència amb l'aproximació polinòmica és mínima) (Figura 16).

Així doncs, tal i com es pot deduir d'aquestes relacions, es confirma que el cas d'àrea anòmalament gran correspon a l'esllavissament de major desnivell.

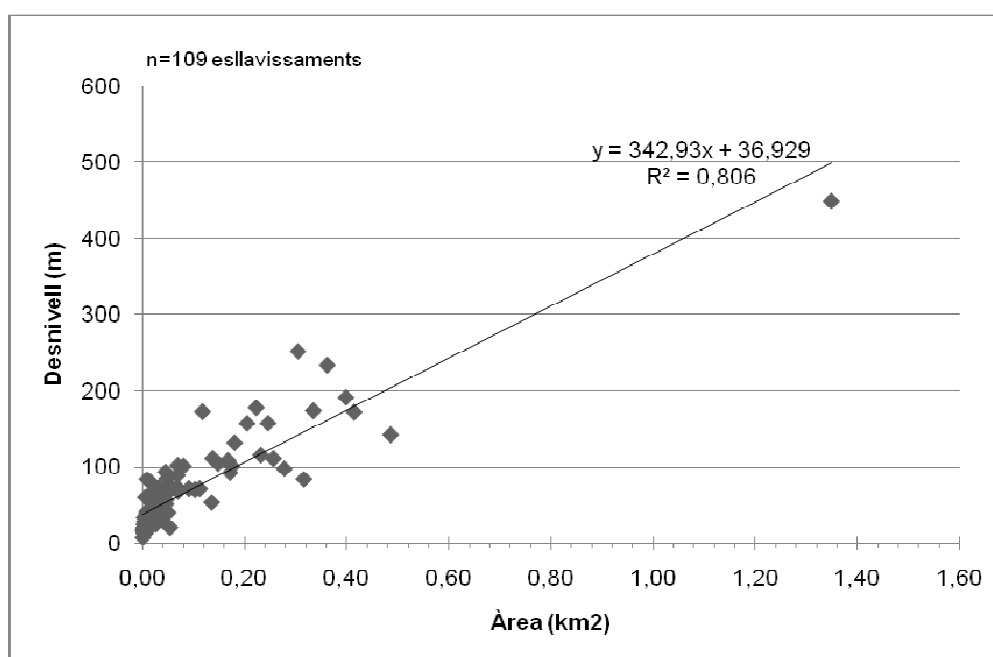


Figura 16: Relació entre l'àrea i el desnivell dels esllavissaments identificats en el mapa inventari.

4.1.1.3. Pendent

Les zones esllavissades tenen un pendent baix. El rang de valors més abundants es situa entre els 6° i el 17°. Mentre que els valors de pendent inferior a 6° encara són relativament habituals, els pendents superiors als 17° són poc comuns en les zones esllavissades (Figura 17).

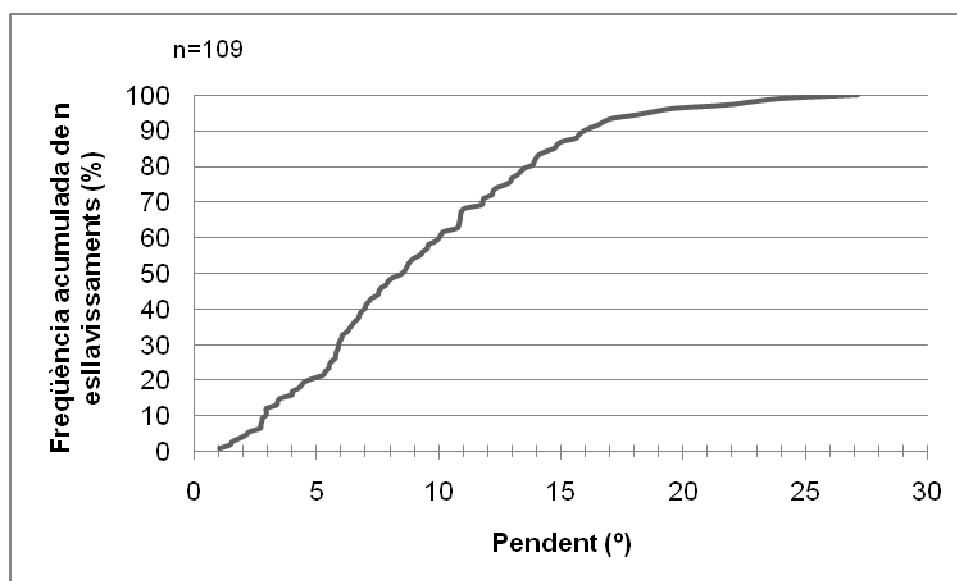


Figura 17: Distribució de pendents dels esllavissaments identificats en el mapa inventari.

Els valors dels pendents obtinguts en les zones inestables portarien a pensar que els paràmetres que descriuen la resistència dels materials esllavissats són molt baixos (cohesió i angle de fricció interna; s'esperarien valors d'angles de fricció interna de l'ordre de 7° en un 50% dels casos). En alguns assajos de laboratori realitzats anteriorment a la zona s'havien obtingut angles de fricció residual d'uns 16° , i en algun estudi s'havia determinat que potser eren lleugerament inferiors. Però en cap cas es creu que puguin ser tan baixos ($<7^\circ$) ja que angles de resistència d'aquest ordre no són possibles ni en aquests materials.

Una possible explicació als valors de pendents obtinguts recau en la observació dels polígons estudiats i l'estadística dels pendents que s'ha utilitzat. Per a extreure aquestes dades s'han utilitzat els 109 polígons de subunitats d'esllavissaments de la zona. Molts d'aquests es situen a la part baixa dels dipòsits de les grans unitats d'esllavissaments, que són zones planes, formades per plataformes (que en molts casos s'utilitzen com a camps de conreu) que han estat desplaçades a causa de la inestabilitat de la part alta de l'esllavissada. En prendre el valor mig dels pendents d'aquestes subunitats d'esllavissament, s'obtenen valors molt baixos.

4.1.1.4. Orientació

En aquest anàlisi s'ha utilitzat la mitja dels valors de les orientacions de tots els píxels de cada esllavissament. Malgrat la desviació estàndard d'aquests valors és bastant elevada en alguns casos (superior als 100° en un 20% dels esllavissaments) s'ha intentat fer una caracterització de forma qualitativa.

La orientació mitja preferent dels esllavissaments identificats és entre els 225° i els 315° , és a dir, cap al W (Figura 18). Tot i així, tenint en compte la dispersió de les dades d'orientació mitja s'ha realitzat també una valoració qualitativa (a partir de la observació del mapa de pendents) de les orientacions dominants. Se'n poden

identificar dues de diferenciades, una entre els 270° i els 360° i l'altra entre els 90° i els 180° (Figura 19).

De forma alternativa, s'hauria pogut fer una valoració qualitativa a partir d'un mapa de pendents reclassificat. Si s'hagués reclassificat el pendent del mapa en diferents classes i s'hagués extret l'estadística a partir d'aquestes classes, prenent el valor de la moda en cada polígon s'hauria obtingut una dada qualitativament més precisa que la observació visual del mapa. Ambtot, el mapa és prou clar i s'ha obviat el procés de fer l'estadística de la reclassificació.

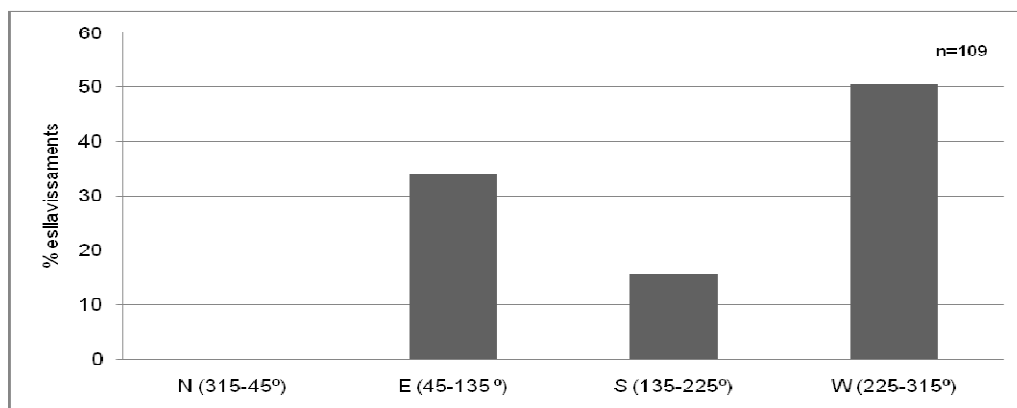


Figura 18: Orientació mitja dels 109 esllavissaments identificats en el mapa inventari.

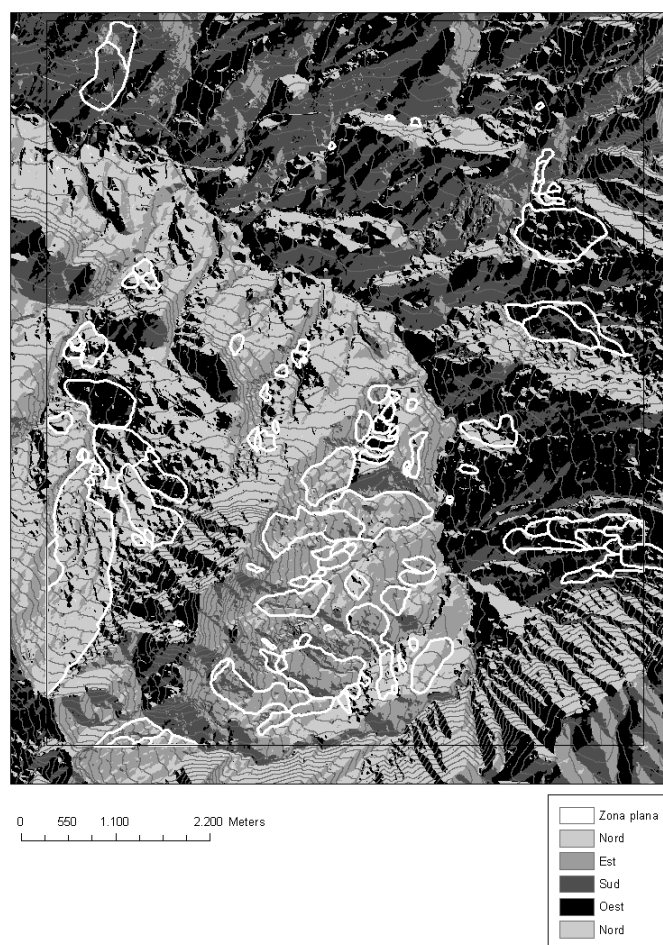


Figura 19: Mapa d'orientacions de la zona d'estudi. S'hi poden observar els esllavissaments.

Aquests esllavissaments però, es poden distribuir en dues grans àrees dins la zona d'estudi, separades pel riu Conques.

- La part dreta del riu (aigües avall): Zona amb orientacions del terreny variables amb una dominància poc marcada d'orientació E-NE.
- La part esquerra del riu (aigües avall): Zona amb una orientació dominant del terreny clara cap al W-SW.

En analitzar les dades d'orientació de l'estratificació geològica mesurades al camp, durant l'elaboració del mapa inventari, s'obté que:

- A la part dreta del riu (aigües avall), la orientació de l'estratificació també té una dispersió elevada (9 dades).
- A la part esquerra del riu la orientació de l'estratificació està entre els 300° i els 360° (6 dades).

La densitat de les esllavissades a banda i banda del riu no és la mateixa.

- A la part dreta s'hi localitzen 81 esllavissaments que suposen entorn d' un 23% de la zona d'estudi situada a la dreta del riu.
- A la part esquerra s'hi troben 28 esllavissaments, que suposen un 7,5% de l'àrea de la zona d'estudi situada a l'esquerra del riu.

Llavors, a la part dreta la densitat d'esllavissaments és més alta que a la part esquerra.

A la part esquerra del riu, on el terreny té una orientació poc variable, la orientació de l'estratificació (també poc variable) no és favorable a l'esllavissament. A la part dreta, en canvi, segurament gràcies a que les orientacions tan del terreny com de la estratificació són més variables, es donen més combinacions favorables a l'esllavissament.

4.1.1.5. Litologia

Els esllavissaments identificats en el mapa inventari es situen predominantment sobre terreny lutític. Aquests dipòsits corresponen tan al substrat de la fàcies Garumnià com a un coluvió fi que recobreix tota la zona de vessants irregulars i pendents suaus de la zona d'estudi (Capítol 3). També es produeixen esllavissaments en terreny format per alternances litològiques amb predomini de material argilós i granular poc cohesiu.

A les zones de roques massives i altres materials cimentats i cohesius pràcticament no s'hi ha identificat esllavissaments (Figura 20).

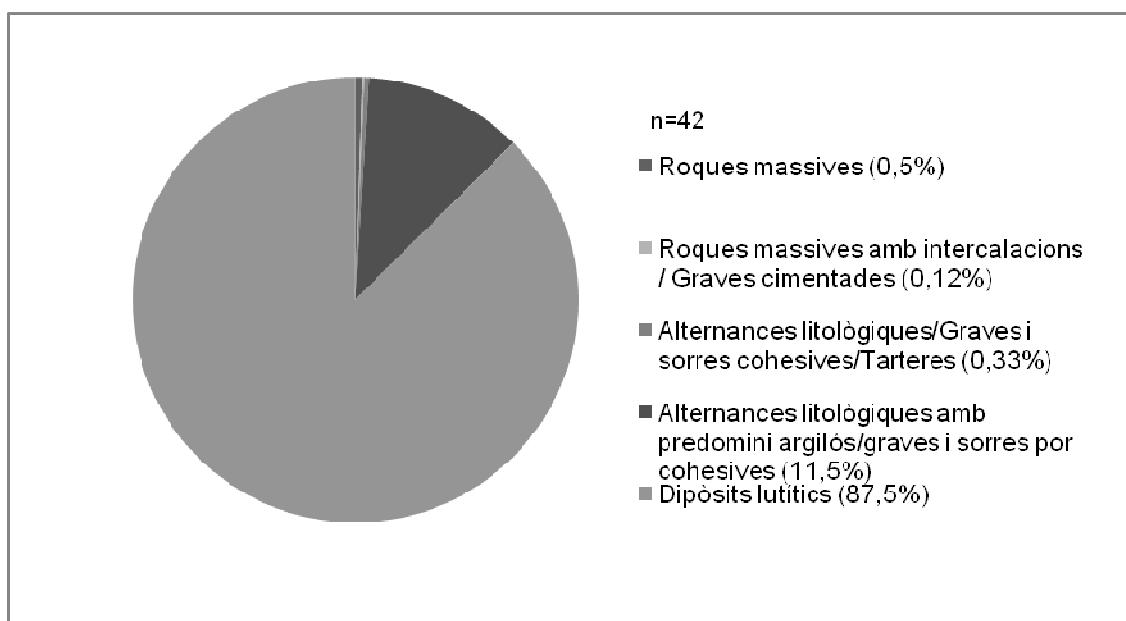


Figura 20: Litologies on es localitzen les n unitats d'esllavissament de la zona d'estudi, segons la reclassificació litològica que s'ha utilitzat per elaborar els mapes de susceptibilitat.

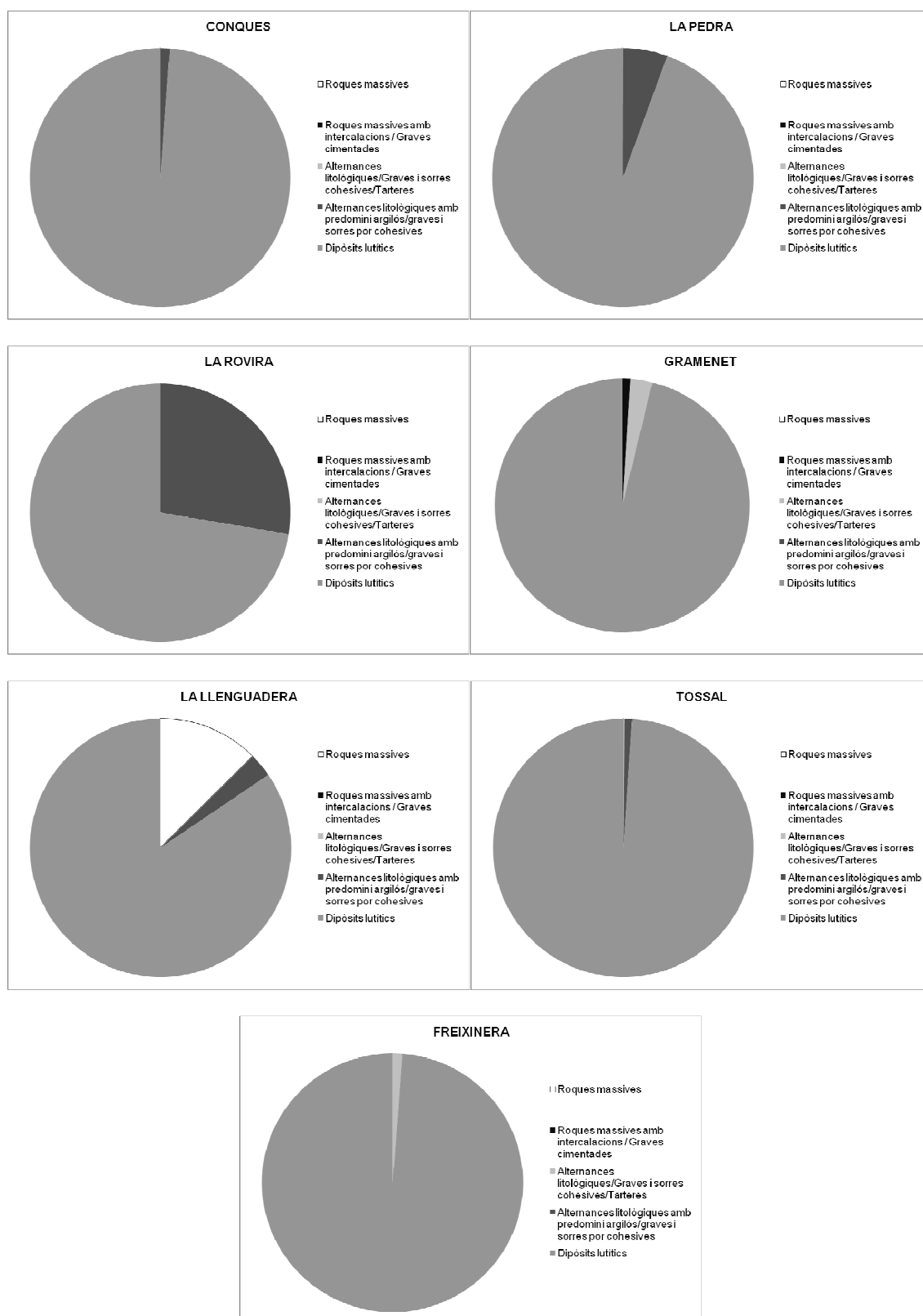


Figura 22: Composició litològica dels esllavissaments escollits.

Tot i que s'han tractat esllavissaments de zones diferenciades i allunyades dins la zona d'estudi, la composició litològica de les zones esllavissades no presenta una variació important. Els dipòsits lutítics són la litologia més present en els esllavissaments.

Al peu dels massissos de la zona, apareixen materials rocosos en els esllavissaments (*la Llenguadera*). En aquestes zones el pendent, més elevat, condiona la inestabilitat de les roques que, a part de desestabilitzar-se en forma de despenjaments, es veuen incorporades en esllavissaments, en alguns casos.

Les alternances litològiques que apareixen en alguns esllavissaments corresponen a tarteres en alguns casos (*la Rovira*) i a materials d'origen fluvial en d'altres (*la Pedra* o *Conques*). La tartera de la zona de la Rovira probablement era prèvia al gran esllavissament, i degut a la gran magnitud d'aquest, es va veure mobilitzada. Els materials d'origen fluvial han estat probablement dipositats posteriorment als esllavissaments, degut als processos d'erosió i sedimentació de la dinàmica fluvial.

4.1.1.6. Conca de drenatge

Com ja s'ha comentat a l'inici d'aquest capítol, el mètode de càlcul de la conca de drenatge de les esllavissades ha estat la suma de la contribució dels píxels de cota màxima. Ja d'entrada es pot apuntar que aquest mètode presenta algunes limitacions, ja que l'escolament superficial no té perquè incorporar-se exclusivament en els píxels de cota màxima. Així doncs, cal tenir en compte que la morfologia de cada zona és molt específica i que les dades que s'han obtingut són tan sols orientatives. Caldria estudiar detalladament el comportament direccional de l'escolament, per a cada cas.

En primer lloc es proposa observar les conques de drenatge de la zona d'estudi (Figura 23). El mapa ha estat obtingut amb l'extensió de ArcView 3.2, Geo-Hec Hms. La observació del mapa permet detectar que no existeix una relació entre la magnitud de l'àrea de la conca de drenatge i la densitat d'esllavissaments.

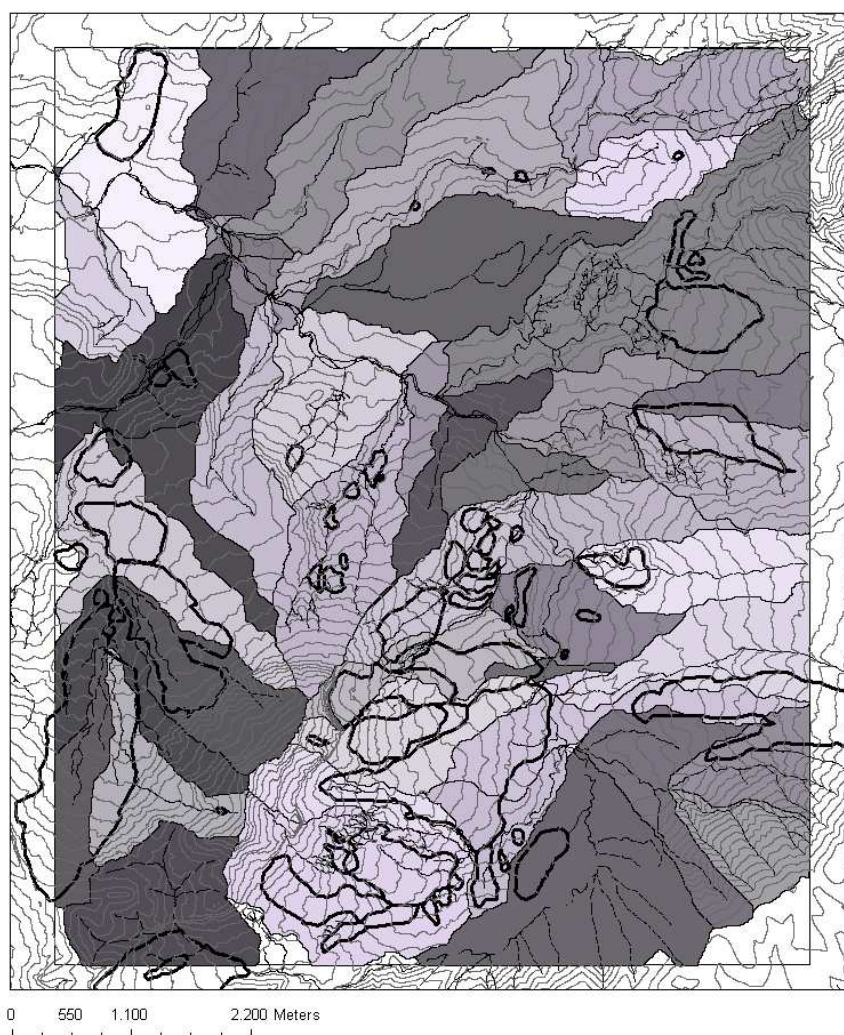


Figura 23: Conques de drenatge de la zona d'estudi i esllavissaments del mapa inventari.

Les dades de les àrees de drenatge associades a cada esllavissament (mitjançant el mètode explicat anteriorment) mostren que no existeix una relació directa entre l'àrea de les esllavissades i l'àrea de la conca de drenatge d'aquestes. És a dir, segons les dades obtingudes, les esllavissades més grans no tenen una àrea de drenatge més gran.

Tot i així, cal tenir en compte el que s'ha comentat al principi d'aquest apartat, les dades utilitzades tenen una validesa limitada. Es té consciència que caldria fer un estudi amb més detall per a determinar exactament la influència del drenatge superficial sobre els esllavissaments a la zona d'estudi, però l'ànim d'aquesta tesina no és aquesta caracterització, així doncs, romandrà com a futura via de recerca.

4.1.2. ZONES ESTABLES (NO ESSLAVISSADES)

Tal i com s'ha exposat al principi d'aquest capítol, un dels objectius és contrastar les dades obtingudes en zones esllavissades amb les dades que es puguin extreure de certes zones que no hagin estat esllavissades (sempre segons el mapa de camp). Aquestes zones s'han escollit intentant mantenir una homogeneïtat geomorfològica i topogràfica. S'ha procurant mantenir una proximitat geogràfica amb les zones esllavissades (Figura 24).

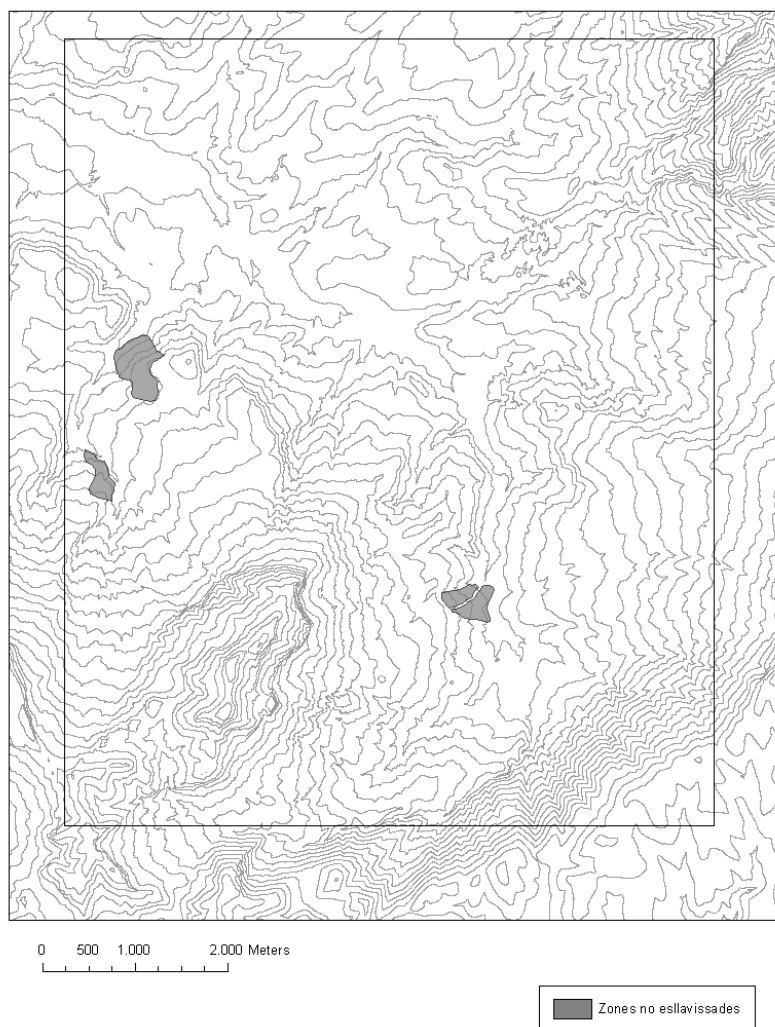


Figura 24: Zones estables escollides per a realitzar l'estudi comparatiu amb les zones inestables.

S'han escollit 4 zones de susceptibilitat baixa. Les seves característiques es mostren a la Taula 12.

Taula 12: Característiques de les zones estables escollides per a realitzar l'estudi comparatiu

Zona	Àrea (m2)	Cota mínima (m)	Cota màxima (m)	Desnivell (m)
ZH1	235109	571	683	112
ZH2	55461	638	721	83
ZH3	88349	631	711	80
ZH4	93162	644	740	96

Zona homogènia	Orientació mitja (°)	Pendent mig (°)	Conca de drenatge (km2)
ZH1	286 (West)	13	0,0004
ZH2	57 (East)	13	0
ZH3	79 (East)	11	0,0006
ZH4	126 (South)	15	0,000025

Litologia	ZH1 (%)	ZH2 (%)	ZH3 (%)	ZH4 (%)
Roques massives	0	0	0	0
Roques massives amb intercalacions / Graves cimentades	0	0	0	0
Alternances litològiques/Graves i sorres cohesives/Tarteres	0	0	8,37	0
Alternances litològiques amb predomini argilós/graves i sorres por cohesives	0,09	0	0	0
Dipòsits lutítics	99,91	100	91,63	100

4.1.3. CORRELACIONS ENTRE ZONES DE DIFERENT SUSCEPTIBILITAT

4.1.3.1. Relació pendent-àrea

Es tracten les dades d'àrea i pendent de les 109 zones esllavissades segons el mapa inventari i les dades dels mateixos factors de les zones de baixa susceptibilitat.

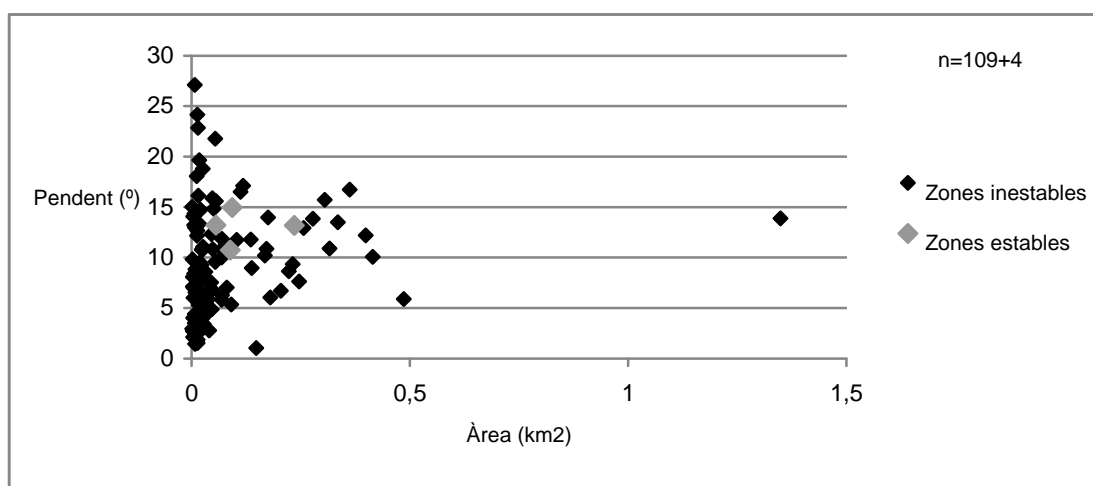


Figura 25: Dades d'àrea i pendent de les zones estables i inestables.

Encara que les zones estables són moltes menys que les inestables (Figura 25) i això fa que la comparació perdi validesa, en aquest gràfic s'observa que per a unes determinades àrees, en un mateix material, les zones inestables tenen un pendent inferior que les zones estables.

Prenent un cas concret d'exemple: una àrea de 0,25 km². Considerant la resta de variables iguals o similars en el cas estables que l'inestable (litologia, conca de drenatge, etc), s'obté que en general, el pendent de les zones inestables és igual o menor que en les zones estables. De nou, cal pensar en la justificació que s'ha exposat en l'apartat del pendent de les zones inestables: moltes de les subunitats d'esllavissaments que s'utilitzen en el càlcul de pendents mitges són zones planes que han estat desestabilitzades per el moviment de terreny en zones de més pendent.

4.2. VALIDACIÓ DELS MAPES DE SUSCEPTIBILITAT

4.2.1. MAPES A VALIDAR

En el capítol anterior s'exposen els mètodes que s'han utilitzat per a crear els mapes de susceptibilitat. Es pretén fer una validació d'aquests mapes (Figura 26, Figura 27, Figura 28, Figura 29, Figura 30, Figura 31) per determinar quin dels tres mètodes empleats s'ajusta millor a la realitat en aquesta zona i quin mapa de base permet obtenir millors resultats. A partir d'aquests resultats es pretén determinar una metodologia eficient per a crear mapes de susceptibilitat extrapolable a altres zones del territori. Els paràmetres que s'han utilitzat en aquesta zona tenen una validesa limitada, en funció de les litologies aflorants a cada zona.

Els mapes a validar són:

- Mapes de SINMAP (Mètode determinístic):
 - Creat a partir del mapa litològic de camp 1:10000 *(es recorda que aquest mapa ha estat creat especialment per a la realització d'aquest projecte. S'ha elaborat en una campanya de camp junt amb el mapa inventari d'esllavissaments, entre d'altres factors que s'han cartografiat, però no s'han utilitzat en aquesta tesina)*
 - Creat a partir del mapa geològic 1:25000
- Mapes de IIS (Mètode heurístic):
 - Creat a partir del mapa litològic de camp 1:10000
 - Creat a partir del mapa geològic 1:25000
- Mapes de IGC (Mètode propi del IGC, basat en una matriu litologia-pendent)
 - Creat a partir del mapa litològic de camp 1:10000
 - Creat a partir del mapa geològic 1:25000

4.2.1.1. SINMAP

SINMAP (Mapa base: Geològic)



Figura 26: Mapa de susceptibilitat de la zona d'estudi creat amb la tècnica SINMAP i el mapa geològic 1:25000 com a mapa litològic de base. També es poden veure les esllavissades del mapa inventari, sobreposades.

SINMAP (Mapa base: Litològic de camp)

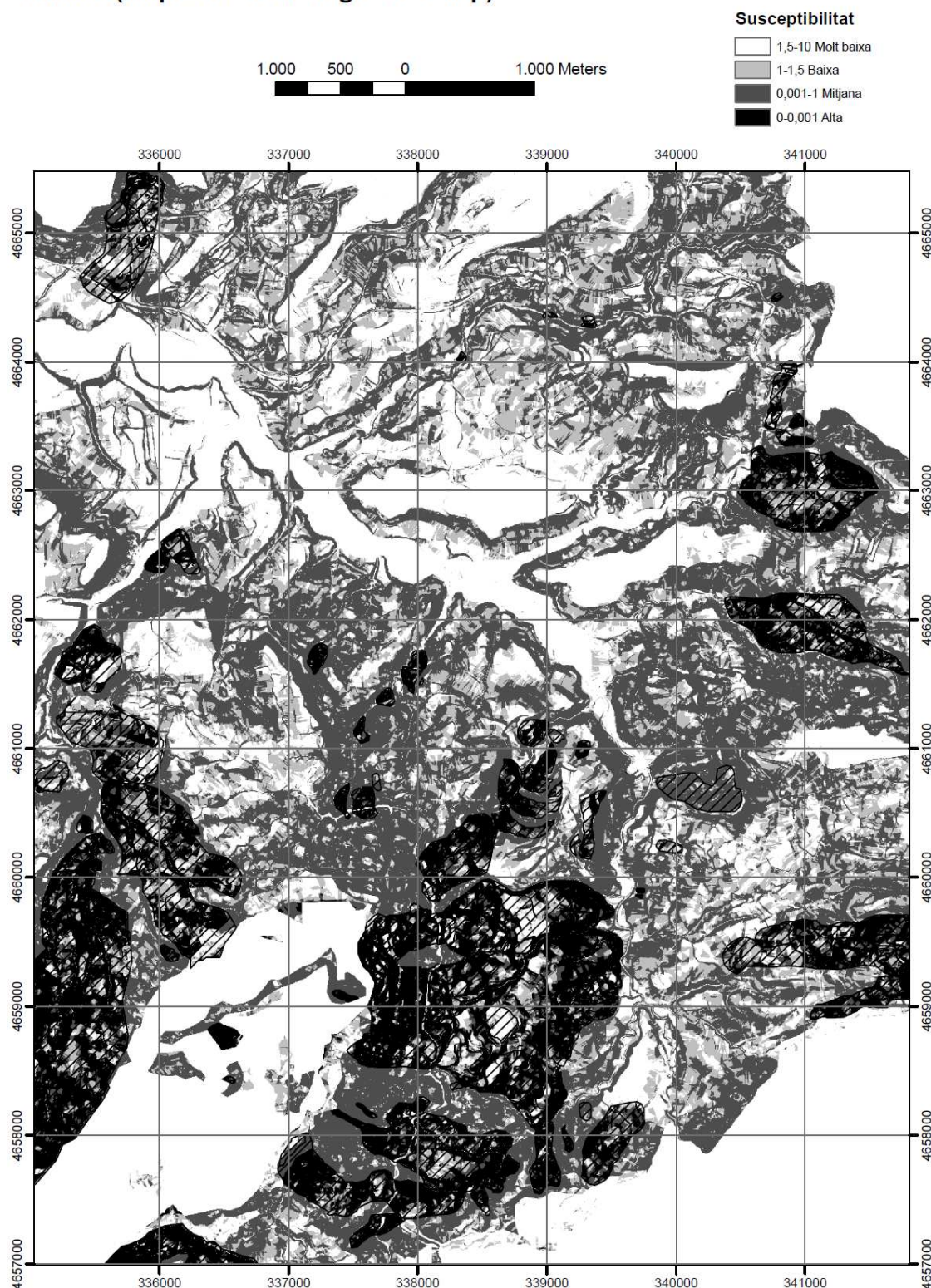


Figura 27: Mapa de susceptibilitat de la zona d'estudi creat amb la tècnica SINMAP i el mapa litològic de camp com a mapa litològic de base. També es poden veure les esllavissades del mapa inventari, sobreposades.

4.2.1.2. IIS

IIS (Mapa base: Geològic)

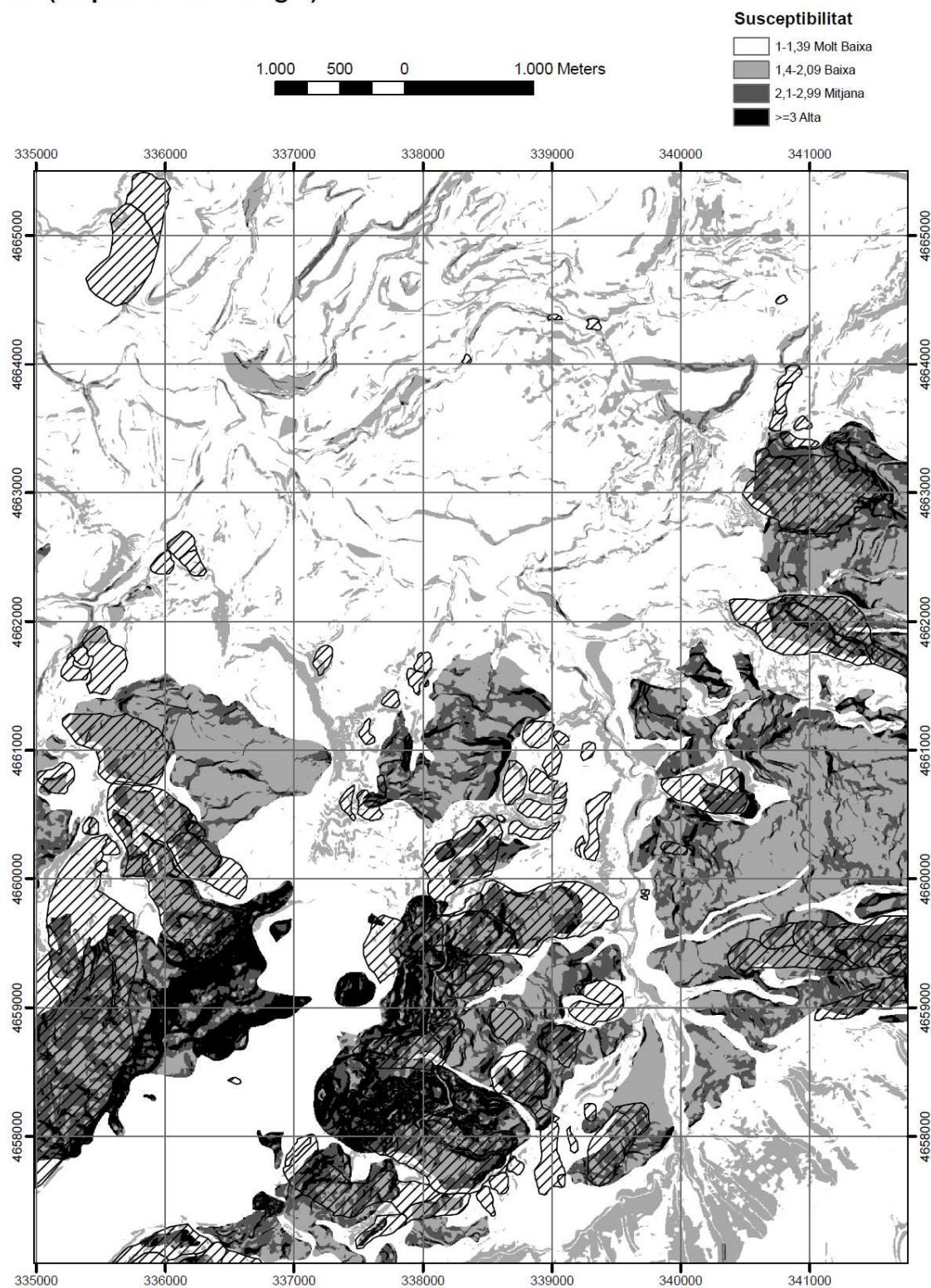


Figura 28: Mapa de susceptibilitat de la zona d'estudi creat amb la tècnica IIS i el mapa geològic 1:25000 com a mapa litològic de base. També es poden veure les esllavissades del mapa inventari, sobreposades.

IIS (Mapa base: Litològic de camp)

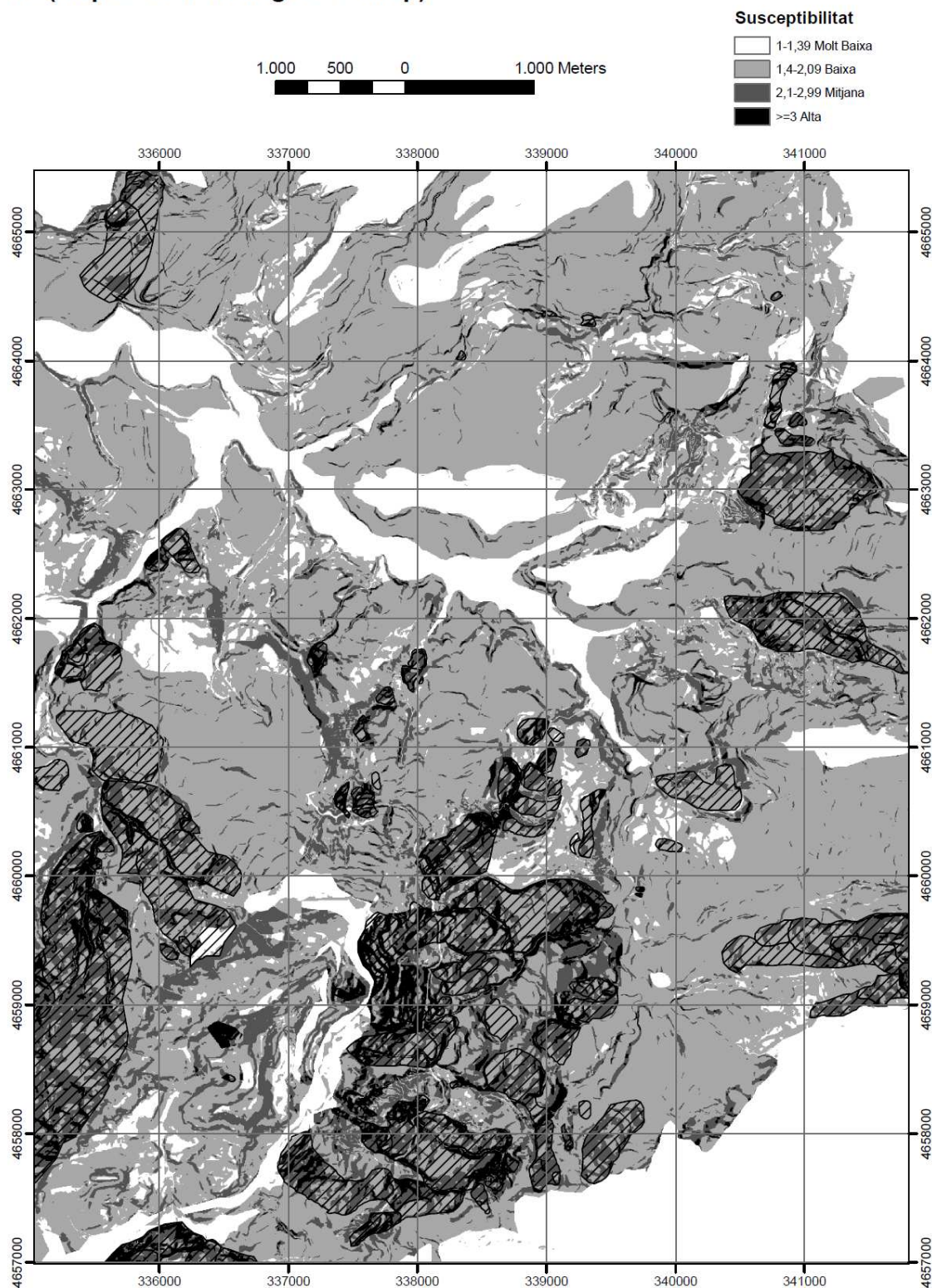


Figura 29: Mapa de susceptibilitat de la zona d'estudi creat amb la tècnica IIS i el mapa litològic de camp com a mapa litològic de base. També es poden veure les esllavissades del mapa inventari, sobreposades.

4.2.1.3. IGC

IGC (Mapa base: Geològic)

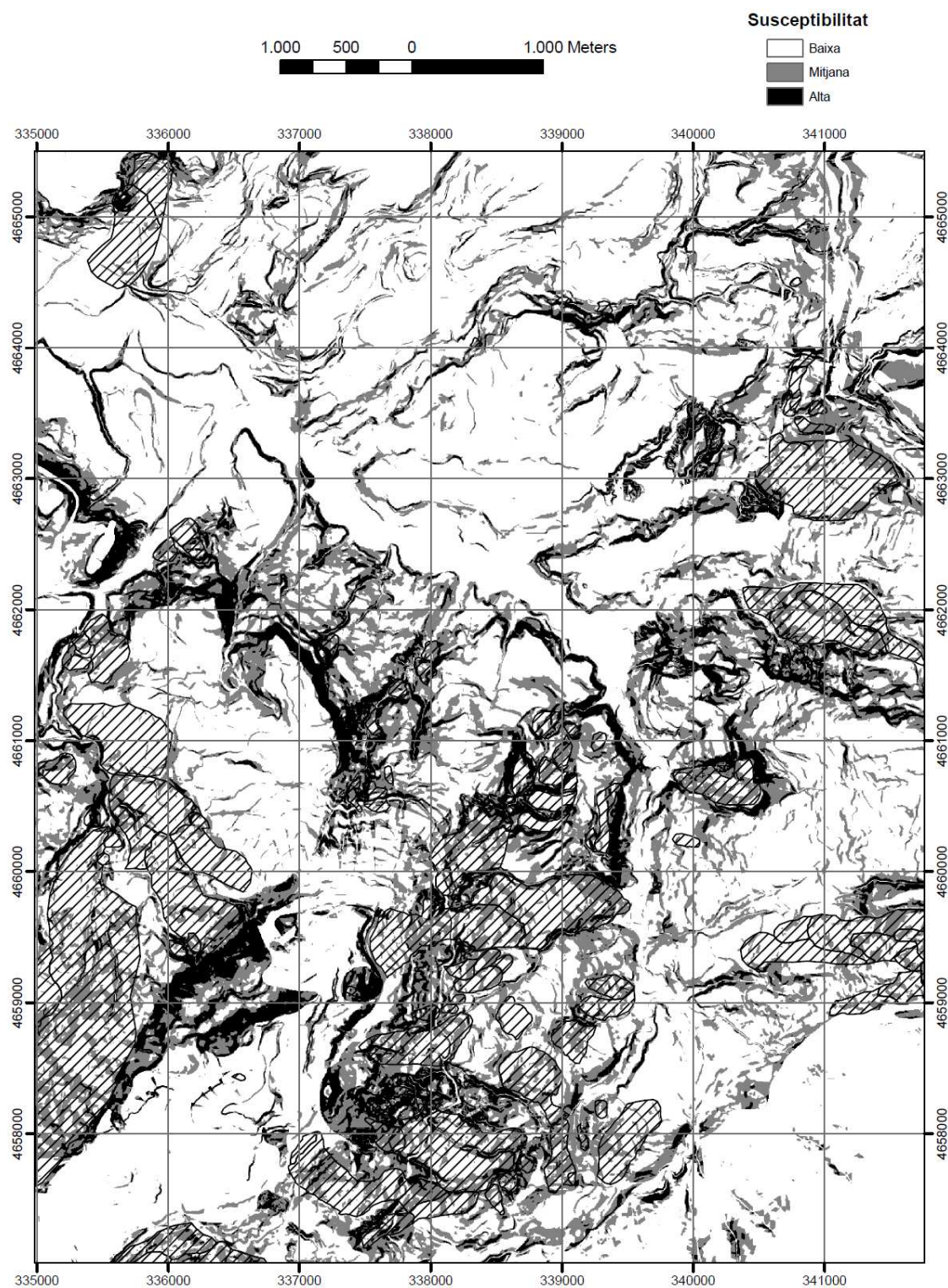


Figura 30: Mapa de susceptibilitat de la zona d'estudi creat amb la tècnica IGC i el mapa geològic 1:25000 com a mapa litològic de base. També es poden veure les esllavissades del mapa inventari, sobreposades.

IGC (Mapa base: Litològic de camp)

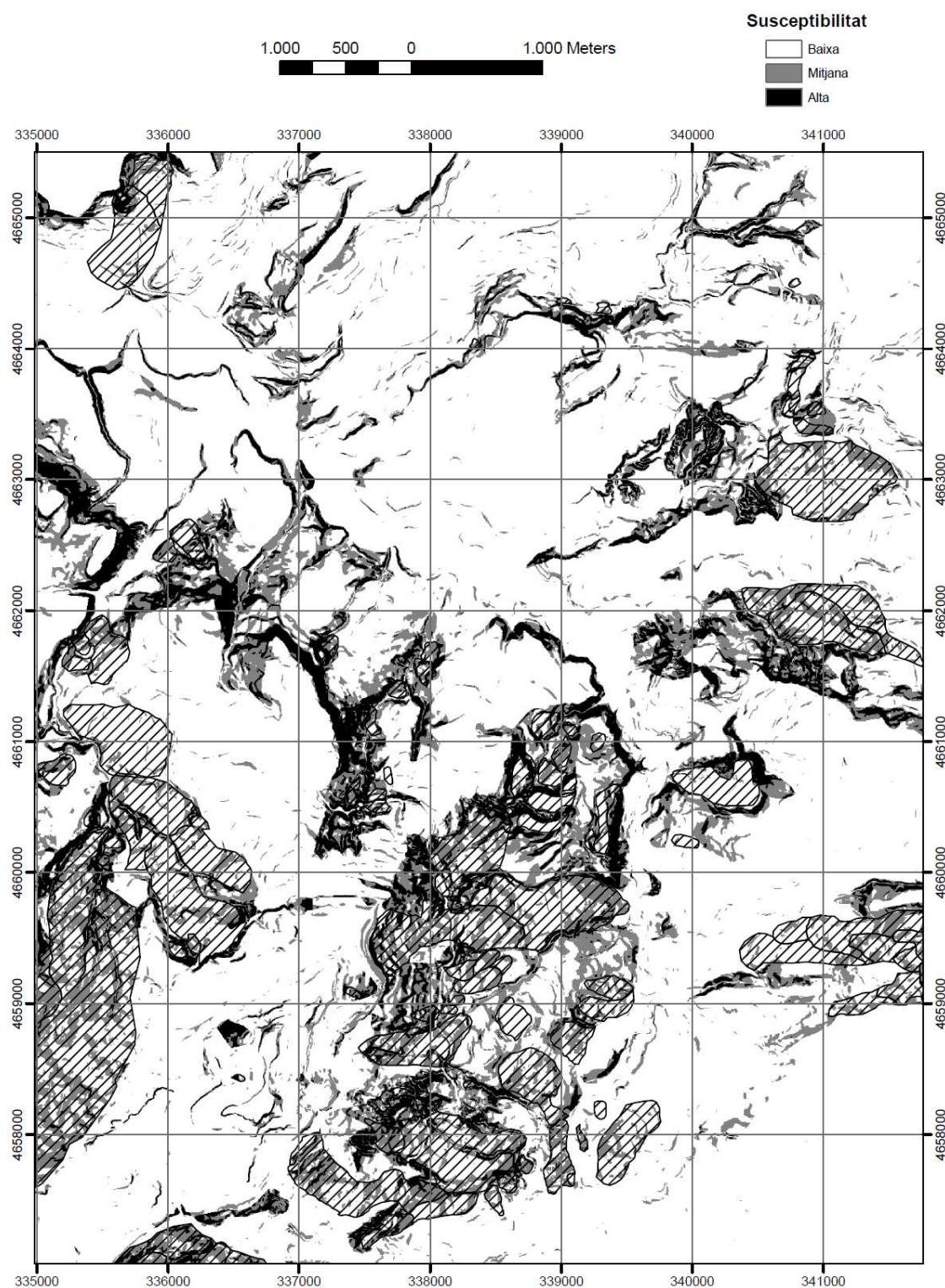


Figura 31: Mapa de susceptibilitat de la zona d'estudi creat amb la tècnica IGC i el mapa litològic de camp com a mapa litològic de base. També es poden veure les esllavissades del mapa inventari, sobreposades.

4.2.2. MÈTODES DE VALIDACIÓ

El principal objectiu d'aquesta tesina és validar els mapes de susceptibilitat que es poden observar en l'apartat anterior.

4.2.2.1. Antecedents validació per punts

Generalment els mapes de susceptibilitat es validen estudiant el grau de coincidència entre una mostra de punts d'estabilitat coneguda i les classes que indica el mapa de susceptibilitat (Figura 32). Segons treballs anteriors, es pren una mostra de punts estables, una de punts inestables i s'estableixen relacions amb les classes de susceptibilitat (Amorin, 2008). Es solen utilitzar:

- Mostra de punts inestables: A partir del mapa inventari (de polígons) es pren el centre de la zona de ruptura i el punt extrem de la zona de dipòsit o abast del moviment (Santacana, 2001).
- Mostra de punts estables aleatòria.

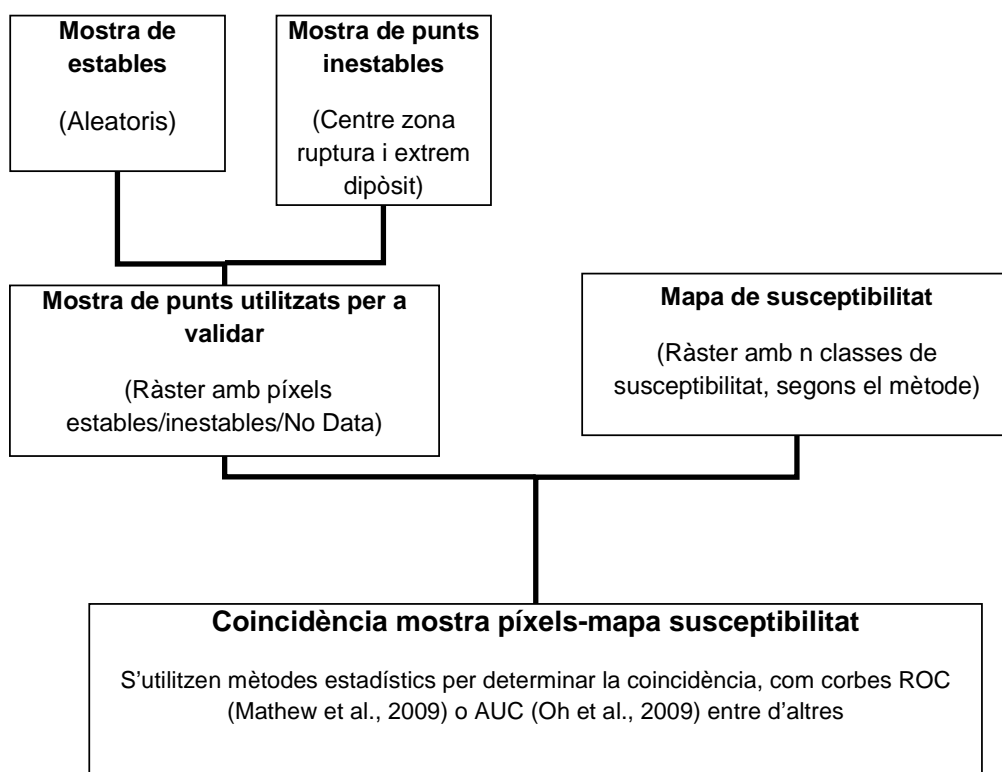


Figura 32: Esquema del procés de validació habitual dels mapes de susceptibilitat, per punts.

S'ha considerat que, degut a l'escala en que s'ha realitzat aquest estudi (els mapes han estat creats pel Conveni de col·laboració entre l'IGC i la UPC per a l'assessorament de Mapes Pilots de Prevenció de Riscos de Catalunya **1:25000**), no

era factible el mètode esmentat anteriorment, ja que seria poc precís prendre solament dos punts inestables per a cada esllavissament.

4.2.2.2. *Antecedents validació per àrees*

Així doncs ha calgut recórrer a altres mètodes de validació, basats en coincidència d'àrees i no de punts. No s'han trobat antecedents de publicacions en que s'hagi realitzat una validació d'aquest tipus. Tan sols s'ha trobat una referència d'un article publicat recentment (Jiménez-Perálvarez et al., 2009) en el que s'exposa un nou mètode de creació de mapes de susceptibilitat amb eina pròpia desenvolupada en el entorn d'ArcGis (*susceptibility.tbx*), que permet automàticament efectuar una validació per àrees.

El mètode (Figura 33) pretén trobar dades que permetin calcular el Grau de Coincidència del mapa de susceptibilitat (MS) mitjançant els mètodes de GMM (GIS Matrix Model), WofE (weight of evidence) i LSI (landslide –susceptibility index) (Fernández et al., 2003). Es tracta de creuar MS amb un mapa inventari (MI) que contingui esllavissaments que no s'hagin utilitzat per crear el mapa de susceptibilitat. Els dos mapes es troben en format ràster, MI és binari (àrea afectada/no afectada) i MS té tantes classes com classes de susceptibilitat s'hagin escollit per a fer l'anàlisi. A partir del creuament d'aquests dos mapes, s'obté, per a cada àrea afectada, el nombre de píxels de cada classe de susceptibilitat. Seguidament, per a una determinada classe, es sumen els píxels corresponents a totes les àrees afectades i es divideixen pel total de píxels de la classe de susceptibilitat. Les dades obtingudes s'utilitzen per a trobar el Grau de Coincidència.

Per a utilitzar aquesta eina d'ArcGis però, és necessari que el mapa de susceptibilitat hagi estat creat també amb aquesta eina; així doncs no és tampoc un recurs per a utilitzar en aquesta tesina (l'objectiu és validar els mapes creats segons unes metodologies determinades).

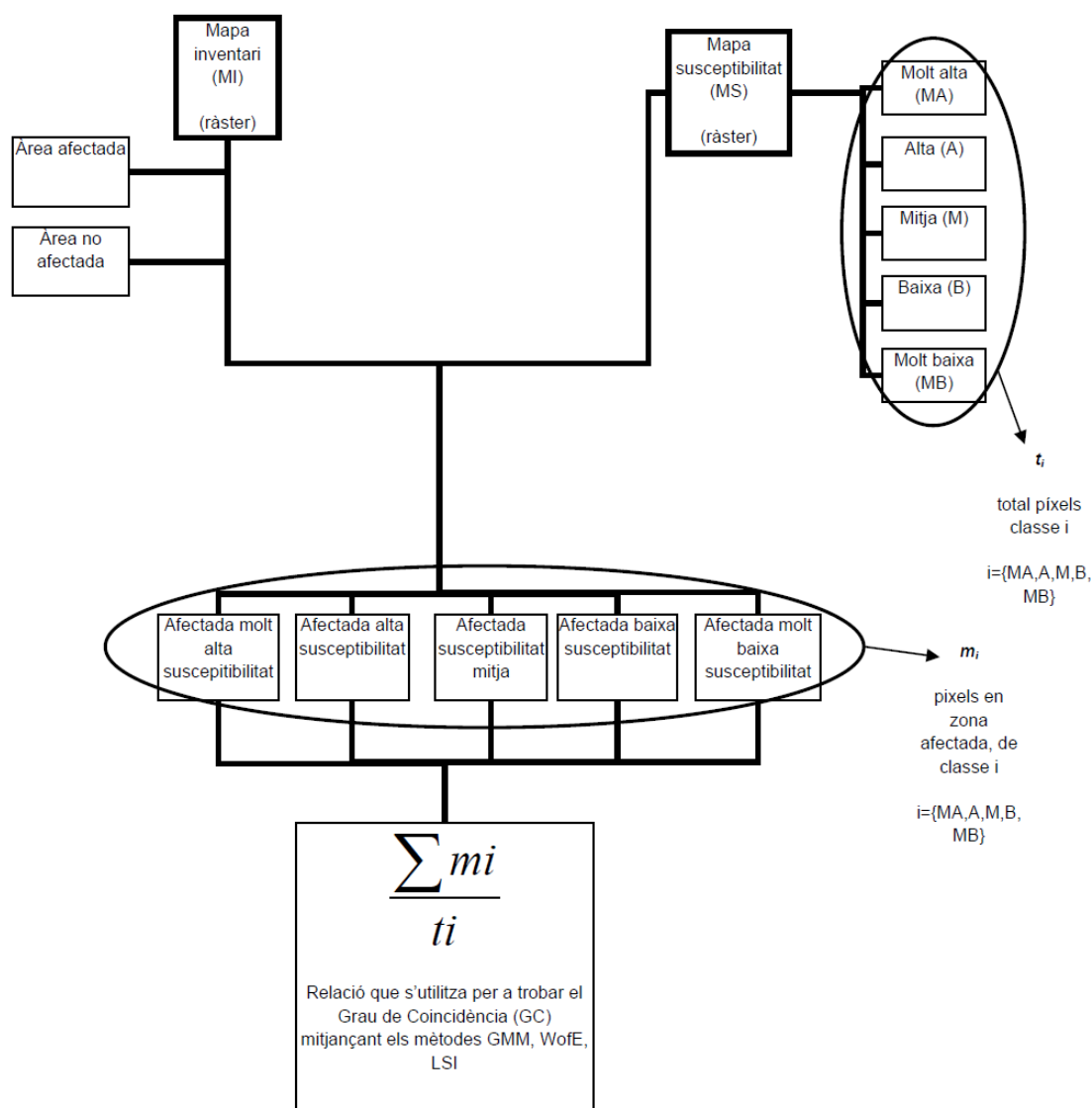


Figura 33: Esquema del procés de validació que utilitza “validation_model”, una eina d’Arc Gis que valida mapes de susceptibilitat per àrees. Per validar mapes amb aquesta eina, cal que aquests hagin estat creats amb l’eina “susceptibility.tbx” (Jiménez-Perálvarez et al., 2009)

4.2.2.3. Mètode utilitzat

S’ha optat per a dissenyar un mètode que permeti trobar el grau de coincidència entre el mapa de susceptibilitat i el mapa inventari. Aquest mètode s’ha basat en el citat anteriorment (Jiménez-Perálvarez et al., 2009) i en el mètode de l’Índex de Densitat Relativa d’esllavissaments, que utilitza la validació per punts (Baeza et al., 2001; Amarin, 2008). En la Figura 34 es mostra l’esquema que s’ha seguit per a trobar aquest grau de coincidència.

En primer lloc cal escollir quines classes del mapa de susceptibilitat es consideraran estables i inestables. Aquesta tasca és clau en el procés de validació, ja que en funció de la divisió de classes que s’hagi realitzat els resultats poden variar

molt. Per aquest motiu, en aquest treball, s'han realitzat diverses divisions de classes, a fi de calibrar aquest pas i fer que sigui el menys subjectiu possible.

Tot seguit, a partir del mapa inventari (MI), cal extreure dos mapes vectorials (també es podria fer amb ràsters): un d'ells ha de contenir les zones esllavissades (ZE) i l'altre les zones no esllavissades (ZNE). ZE i ZNE s'utilitzen com a *Mask* en l'eina *Extract by Mask* d'Arc GIS, on el mapa de base és MS. El resultat obtingut en aquesta acció són dos mapes ràster: un d'ells que conté la susceptibilitat en les zones esllavissades (SZE) i l'altre amb la susceptibilitat en les zones no esllavissades (SZNE). En aquests mapes, cal determinar els valors de la variable F (F1 i F2). F s'ha descrit en cada cas com:

- Els píxels InCI en zona inestable, en forma de % sobre el total de píxels del mapa (F1)
- Els píxels EsCI en zona estable, en forma de % sobre el total de píxels del mapa (F2)

El Grau de Coincidència es determina sumant aquests dos valors.

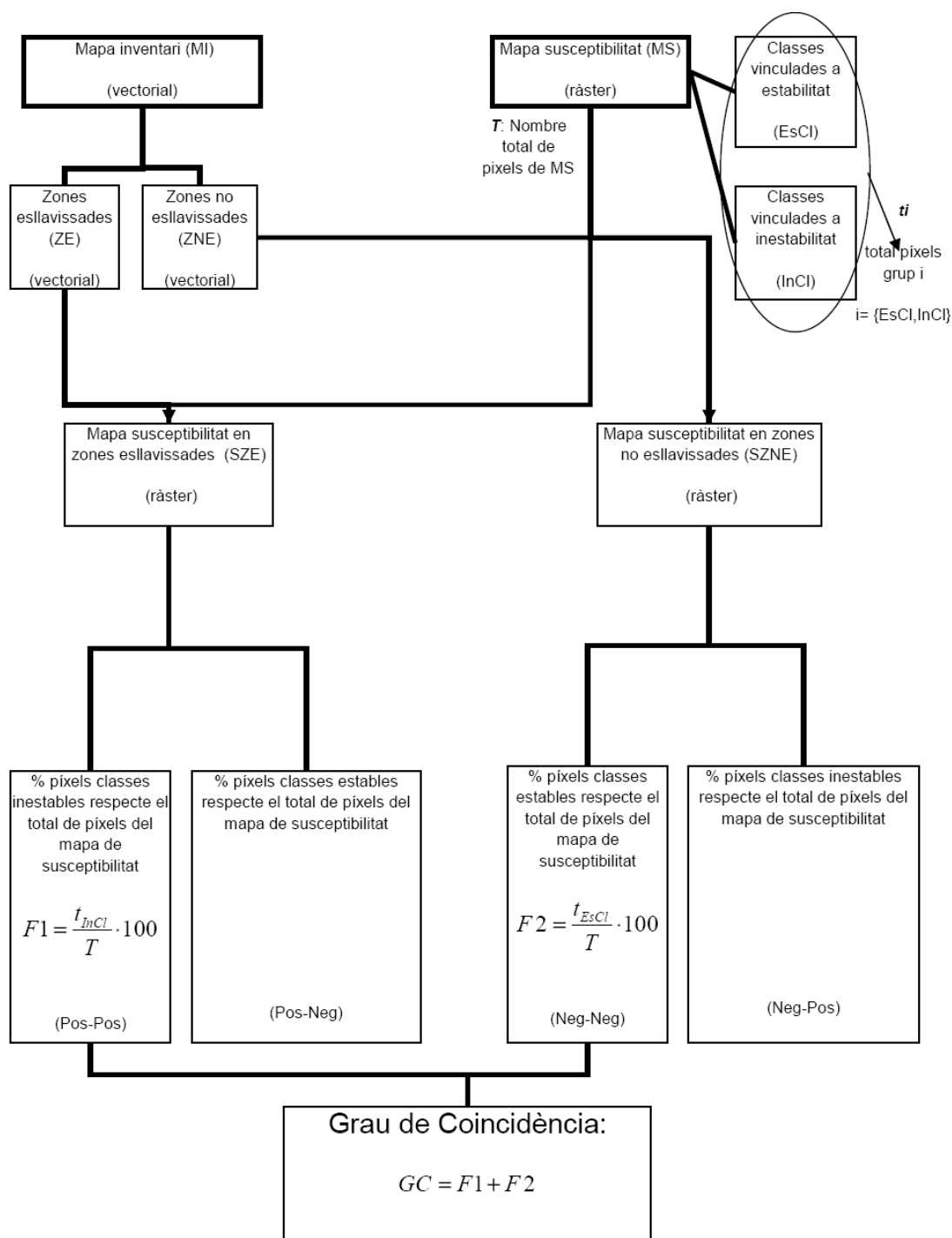


Figura 34: Esquema utilitzat per a la validació dels mapes de susceptibilitat d'aquest estudi.

4.2.3. RESULTATS

El procés de validació dels mapes ha constatat de diverses iteracions en les que s'ha buscat l'ajust del mètode, sobretot pel que fa a la divisió de les classes de susceptibilitat en estables i inestables.

4.2.3.1. Validació utilitzant totes les classes de susceptibilitat

Inicialment es va realitzar una divisió de classes de susceptibilitat que comprenia totes les classes dels mapes de susceptibilitat (Taula 13). Per a SINMAP i IIS, amb 4 classes cadascun, es va fer una divisió de 2 i 2 classes respectivament. En el cas de IGC es varen fer dues variacions en la divisió de classes ja que el mapa de susceptibilitat tan sols té 3 classes.

En aquest primer procés s'utilitzava tots els píxels del mapa per a fer la validació, ja que tots ells quedaven classificats com a estables o inestables segons a la classe a la qual pertanyen.

Taula 13: Divisió de les classes de susceptibilitat en estable i inestable de manera que totes les classes queden classificades i tot el MS intervé en la validació. Utilitzar aquestes classificacions per a la validació distorsiona els resultats.

Mapa Susceptibilitat	SINMAP				IIS				IGC (1)			IGC (2)		
Classes del mapa	Alta	Mitja	Baixa	Molt baixa	Alta	Mitja	Baixa	Molt baixa	Alta	Mitja	Baixa	Alta	Mitja	Baixa
Classes Estables (EsCl)														
Classes Inestables (InCl)														

Com que aquesta divisió de classes implica la utilització del mapa íntegre, i aquest té la mateixa extensió que el mapa inventari d'esllavissaments, es va poder establir una comparació entre les àrees inestables que es considerava en cada cas (Figura 35 i Figura 36). Amb aquesta divisió de classes, SINMAP és molt pessimista, mentre que IIS és el que més s'ajusta al % d'àrea inestable del mapa inventari.

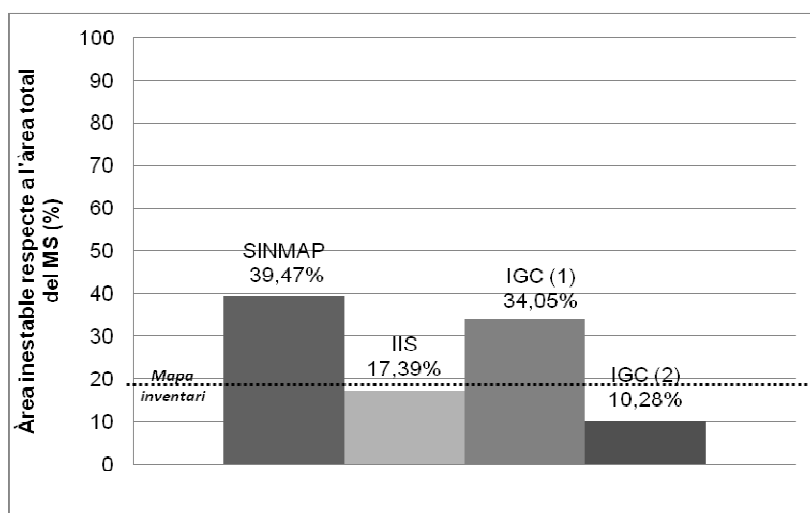


Figura 35: Àrea inestable obtinguda per a cada tècnica, utilitzant totes les classes de susceptibilitat i amb el mapa geològic de base.

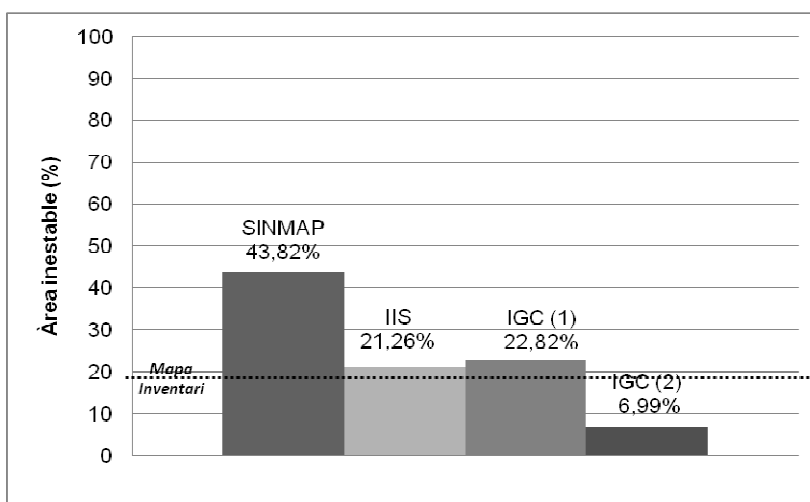


Figura 36: Àrea inestable obtinguda per a cada tècnica, utilitzant totes les classes de susceptibilitat i amb el mapa litològic de camp, de base.

Es va observar que si s'utilitzaven totes les classes del mapa de susceptibilitat per a fer la validació, els resultats obtinguts del grau de coincidència no eren els esperats, ja que estaven distorsionats per la presència dels píxels de classes de susceptibilitat mitges (mitja, baixa en SINMAP i IIS; mitja en IGC). En alguns casos, aquests píxels són molt més abundants que els de les classes extremes (alta i molt baixa en SINMAP i IIS; alta i baixa en IGC) i fan que els valors de F1 i F2 es vegin alterats.

Per exemple, en SINMAP: La classe de susceptibilitat mitjana, segons la classificació dels valors de SI, inclou molts dels píxels de fora de les zones esllavissades. El fet que la classe mitjana sigui abundant, fa que les classes baixa i molt baixa es vegin minoritzades fora de les zones esllavissades. Això provoca que F2 sigui menor, que al seu temps fa que GC sigui també més petit. Però aquest valor és

altament susceptible a les múltiples reclassificacions de la susceptibilitat que ha sofert el píxel. Inicialment tenia un valor numèric de SI, que ha passat a ser una classe de susceptibilitat mitjana, que finalment ha passat a ser inestable.

SINMAP i IIS són creats originàriament en termes de susceptibilitat com a variable contínua, i en reclassificar-se s'introdueix un grau de subjectivitat que condiciona els resultats obtinguts en la validació.

S'esperava que gràcies a la utilització del mapa de camp, creat expressament amb la finalitat d'obtenir un mapa de susceptibilitat i supervisat per experts, els resultats fossin considerablement millors, especialment en SINMAP (mètode determinístic) i IIS (heurístic), mètodes ajustables segons el criteri d'experts. Els resultats no mostren una millora substancial, sinó que en el cas de SINMAP el GC fins i tot disminueix una mica (Figura 37 i Figura 38).

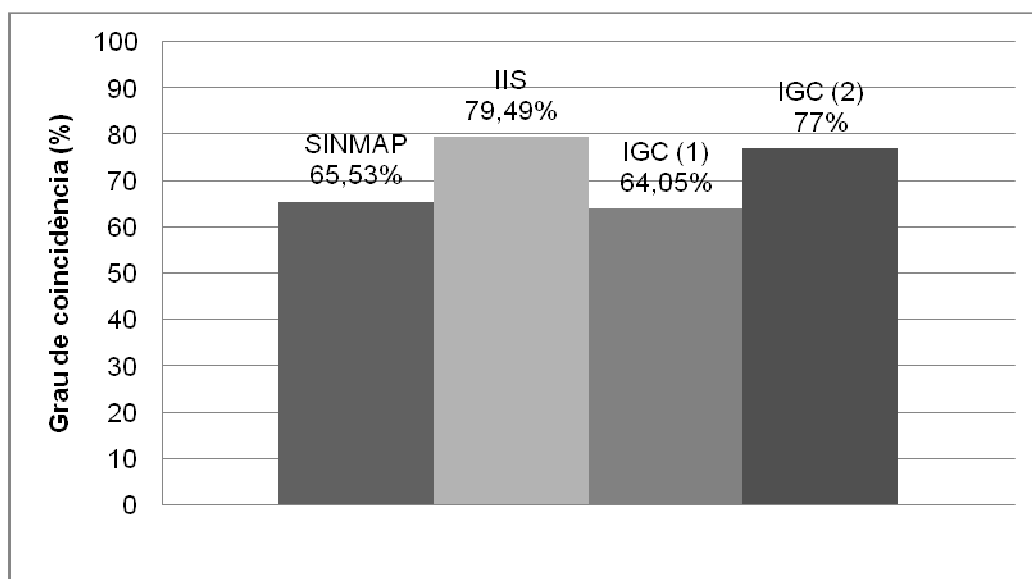


Figura 37: Valors del grau de coincidència obtinguts mitjançant la utilització de totes les classes de susceptibilitat i el mapa geològic 1:25000 de base.

Com que en aquesta divisió de classes, cada tècnica utilitza una àrea de MS de validació diferent (depenent de la suma de píxels de classes de susceptibilitat mitja i baixa), així que la comparació d'àrea inestable és difícil d'establir.

Els resultats que s'obtenen amb aquesta divisió reflecteixen els resultats esperats (Figura 39 i Figura 40).

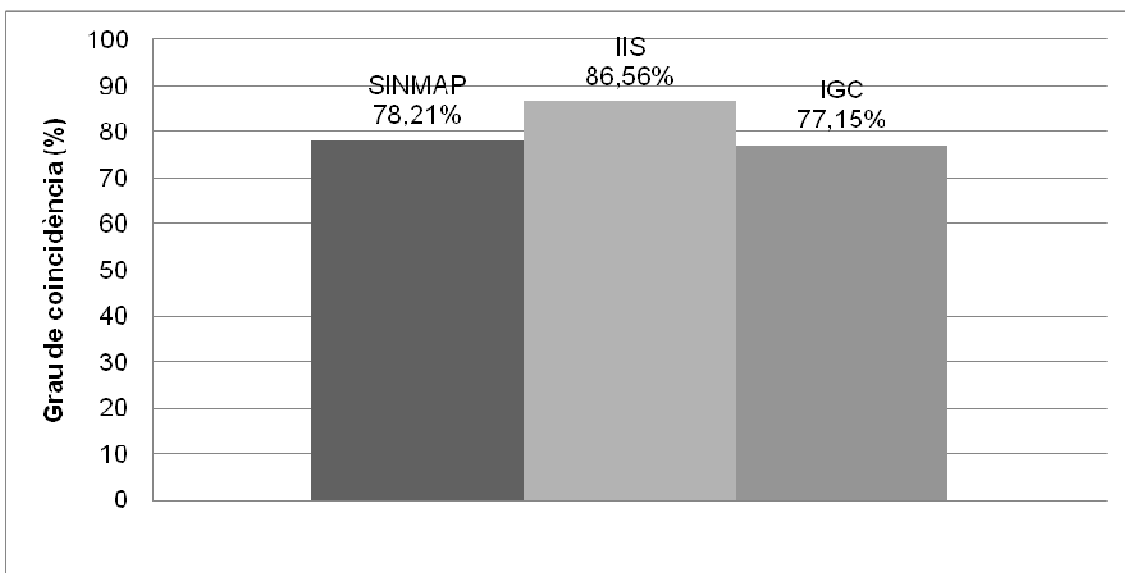


Figura 39: Valors de grau de coincidència obtinguts utilitzant les classes extremes del mapa de susceptibilitat i el mapa geològic de base.

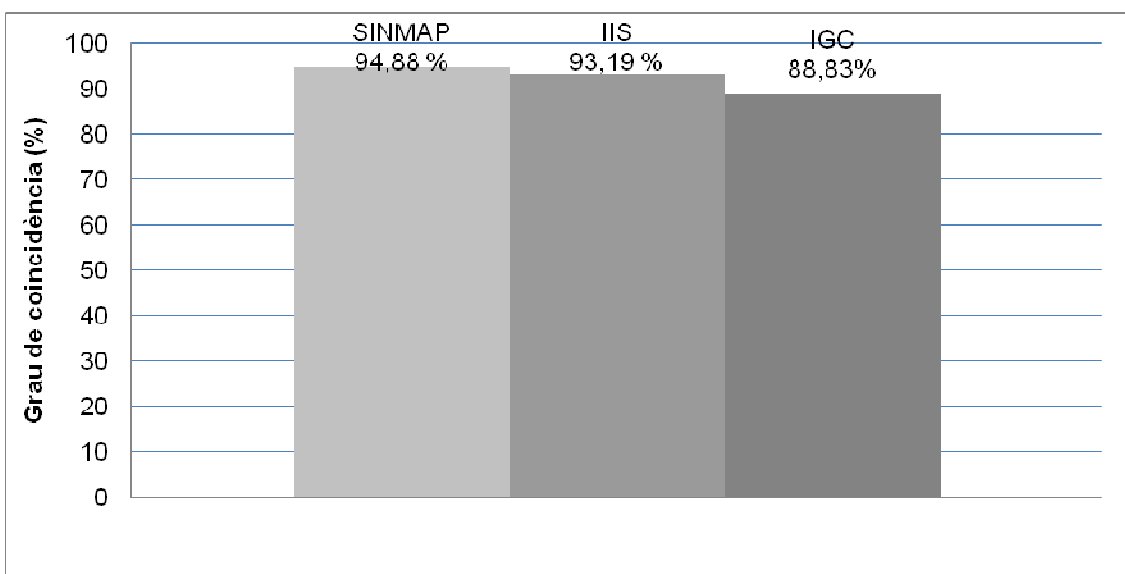


Figura 40: Valors de grau de coincidència obtinguts utilitzant les classes extremes del mapa de susceptibilitat i el mapa litològic de camp de base.

4.2.4. DISCUSSIÓ DELS RESULTATS

Pels motius que s'han exposat en els apartats anteriors, la validació que s'ha considerat més correcta és la que utilitza les classes extremes del mapa de susceptibilitat. Els resultats que s'han obtingut en aquesta validació s'exposen en detall a la Taula 15.

Taula 15: Àrees que s'han utilitzat per a validar cada tècnica, utilitzant només les classes extremes. També s'exposen els valors de F1, F2 i GC obtinguts.

	Geològic			Litològic de camp		
	SINMAP	IIS	IGC	SINMAP	IIS	IGC
Àrea utilitzada per a validar, del total del MS (%)	62	64	76	49	17	78
F1 (%)	9,17	2,08	1,3	18,08	10,49	0
F2 (%)	69,04	84,48	75,85	76,8	82,7	88,83
GC (%)	78,21	86,56	77,15	94,88	93,19	88,83

A partir dels resultats de la Taula 15 es pot observar que fer servir el mapa litològic de camp com a mapa base fa que incrementin GC. La tècnica que millora més és SINMAP, el mètode determinístic. SINMAP requereix un temps per a fer la calibració, però un cop feta (millora molt amb el mapa litològic de camp de base) té molt bona precisió. També el mètode heurístic (IIS) presenta una coincidència elevada.

El mapa litològic de camp que s'utilitza de base conté una litologia anomenada "terreny esllavissat", que fa que tingui una susceptibilitat molt alta en els píxels on hi ha aquesta litologia (a causa dels paràmetres de SINMAP i IIS). La litologia "terreny esllavissat" és la que es dona a les zones esllavissades del mapa inventari. Utilitzar el propi mapa inventari per a validar es una limitació del mètode de validació.

4.3. ACTIVITAT

Es vol establir un criteri que permeti classificar les 42 fitxes dels esllavissaments (Figura 46), identificats per Ramon Copons, segons la seva activitat (com ja s'ha comentat en el capítol 3.2.2.1.), cada fitxa correspon a una *unitat d'esllavissament*, la qual inclou diversos esllavissaments). Es vol correlacionar l'activitat identificada segons la fitxa amb la susceptibilitat dels mapes que s'han validat.

Per a estimar l'activitat s'ha fet una anàlisi qualitativa per tal d'obtenir la informació necessària sobre els indicadors d'activitat. Llavors s'ha intentat fer una anàlisi quantitativa. Seguidament s'ha procurat fer una validació dels resultats obtinguts i finalment s'ha intentat establir una correlació amb les dades de susceptibilitat.

4.3.1. ANÀLISI QUALITATIVA

L'objectiu de l'anàlisi qualitativa és conèixer les relacions entre indicadors d'activitat a la zona, per tal de poder ponderar la seva importància a l'anàlisi quantitativa.

La fitxa de camp és molt extensa i precisa. Per a aquesta anàlisi s'ha fet una simplificació, utilitzant només les dades dels indicadors més rellevants. Aquesta selecció s'ha fet en base a criteris bibliogràfics (Turner et al., 1996) i la consulta d'experts en la matèria.

Els indicadors de la fitxa que s'han utilitzat en aquest cas per a tractar l'activitat dels moviments de massa són:

- Afectació dels arbres
- Escarpaments de coronació i peu
- Presència de xaragalls
- Presència d'esquerdes
- Dificultat d'identificació en fotografia aèria

Segons la observació al camp i el criteri d'experts, un bon **indicador d'activitat** de la zona d'estudi és **l'afectació dels arbres**. Encara que no s'han efectuat tasques de datació, s'ha estimat que a la zona hi ha arbres vells, madurs i joves (edat relatives). Alguns dels esllavissaments presenten arbres afectats ja que han sofert algun episodi d'activitat en un període de temps inferior a l'edat dels arbres. Segons es vulgui aprofundir en l'estudi, es pot detallar exactament quins són els arbres afectats, per acotar el moment en que es va produir l'esllavissament i fer estudis de dendrocronologia per determinar l'edat absoluta.

Tot i que no tots els esllavissaments es troben en zona boscosa, s'ha pogut comprovar que els que s'hi troben mostren una important afectació dels arbres. Així doncs, s'ha pres aquest indicador com a referència per estudiar si els altres indicadors reflecteixen bé l'activitat a la zona.

En les fitxes de camp s'ha pogut veure que un 33% dels 42 moviments observats presenten afectació dels arbres (Figura 41). El 67% restant correspon a zones no boscoses (31%) i a zones on els arbres que hi ha no presenten evidències d'activitat (36%) (pot tractar-se d'un moviment més antic que l'edat dels arbres). Així doncs, el fet que no hi hagi arbres afectats no comporta que no hi hagi hagut cap episodi d'inestabilitat, mentre que en el cas que hi hagi arbres afectats sí que indica activitat.

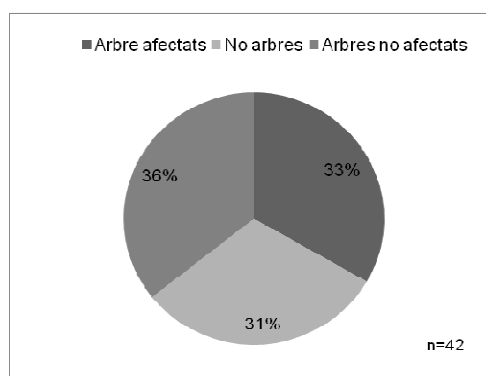


Figura 41: Afectació dels arbres en els esllavissaments cartografiats en el mapa de camp.

S'ha comprovat que, del total dels esllavissaments amb arbres afectats (Figura 42):

- El 71% presenta l'escarpament de coronació angulós/subangulós.
- El 58% té esquerdes.
- El 57% s'ha identificat fàcilment/molt fàcilment en fotografia aèria.
- Un 41% no tenen xaragalls.
- Un 28,57% presenta l'escarpament del peu angulós.

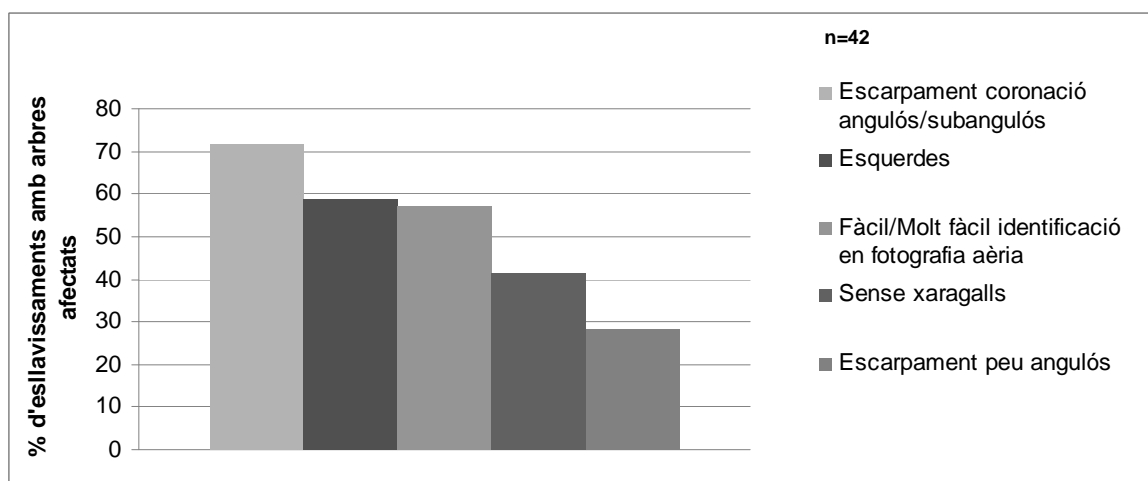


Figura 42: Comportament dels altres indicadors d'activitat en els esllavissaments que tenen arbres afectats.

A partir d'aquests resultats s'ha establert un pes per a cadascun dels indicadors. Aquests pesos s'utilitzen en l'anàlisi quantitativa.

4.3.2. ANÀLISI QUANTITATIVA

4.3.2.1. Índex d'activitat

La determinació de l'activitat de les fitxes es fa mitjançant l'**índex d'activitat**. Es tracta d'un índex empíric que es basa en els indicadors que esmentats en l'apartat anterior.

S'ha dividit cada indicador en classes, a les quals s'ha assignat pesos en funció de la seva influència relativa en la inestabilitat. Posteriorment s'ha determinat el pes de cada indicador en l'índex d'activitat.

$$I = \sum w_j \cdot x_{ij}$$

on:

I és l'índex d'activitat,

w_j és el pes (normalitzat) de l'indicador j,

x_{ij} és el pes de la classe i del factor j

L'Índex s'expressa com a sumatori, amb la influència de cadascun dels indicadors ponderada segons s'estableix a la Taula 16.

4.3.2.2. Indicadors i classes dels indicadors

La determinació dels pesos ha estat supervisada per experts en la matèria, i ha estat fruit de diverses opinions. Finalment, contrastant les opinions i els resultats de l'anàlisi qualitativa, s'han establert els pesos de la Taula 16.

Els pesos dels indicadors han estat normalitzats, mentre que els de les classes dels indicadors s'han establert segons una escala on:

0: expressa inestabilitat mínima

1: expressa inestabilitat màxima

Taula 16: Pesos dels indicadors d'activitat i les corresponents classes, en l'Índex d'Activitat

Indicadors i classes	Pesos
Afectació d'arbres	0,28
Joves, madurs i vells	1
Joves, madurs	0,66
Joves/Madurs	0,33
No arbres afectats	0
Escarpament peu	0,06
Angulós	1
Suavitzat	0,5
Enterrat o erosionat	0
Escarpament coronació	0,22
Angulós	1
Subangulós	0,66
Arrodonit	0,33
Molt arrodonit	0
Esquerdes	0,17
Sí	1
No	0
Interpretació foto aèria	0,17
Molt fàcil	1
Fàcil	0,66
Difícil	0,33
Molt difícil	0
Xaragalls	0,11
No	1
Sí	0

4.3.2.3. Resultats i validació

Un cop s'ha obtingut els valors de l'índex d'activitat s'ha procedit a establir classes d'activitat.

Es pretén fer una classificació d'activitat dels 42 esllavissaments, a partir de les fitxes de camp, que permeti tenir una idea del grau d'activitat. S'han determinat 3 classes:

Taula 17: Classes d'activitat segons els valors d'Índex d'Activitat

Classe	Rang de valors d'Índex d'Activitat
Molta activitat	0,66-1
Moderada activitat	0,33-0,66
Poca activitat	0-0,33

S'ha obtingut que el 47,6% dels esllavissaments tenen poca activitat, un 43% tenen moderada activitat i un 9,5 % tenen molta activitat (Figura 43).

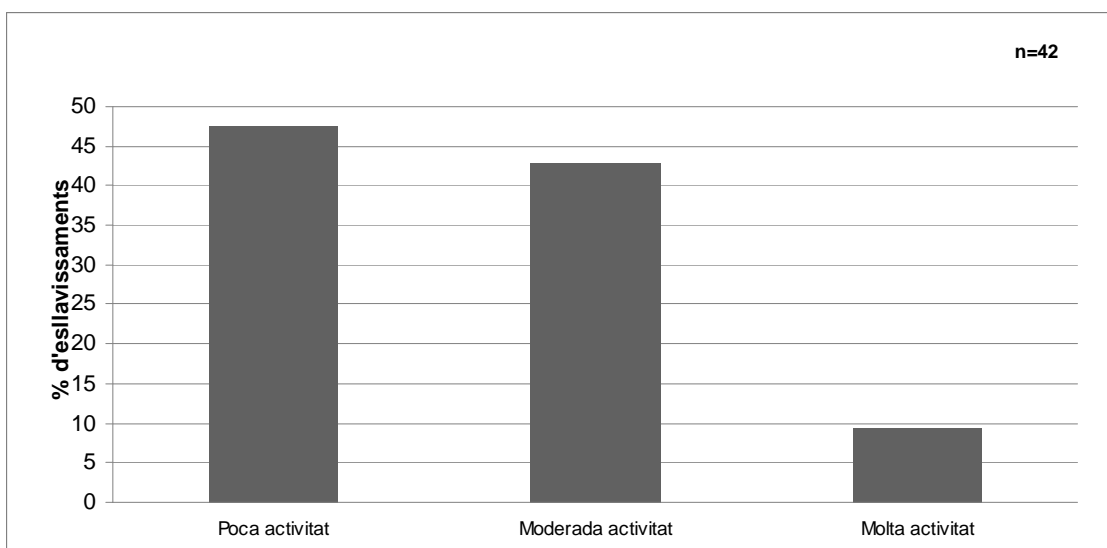


Figura 43: Valors de l'Índex d'Activitat obtinguts. Classificats en 3 classes.

Per a validar aquests resultats s'ha proposat la comparació de l'índex d'activitat amb una dada de camp, presa pel mateix Ramon Copons: *les evidències de reactivació*. L'evidència de reactivació és una dada empírica, que pretén sintetitzar diversos aspectes observats al camp (si l'esllavissament mostra clars indicis d'haver estat reactivat recentment o en varis episodis que mostren evidències), segons el criteri d'expert.

La comparació entre l'Índex d'Activitat i l'evidència de reactivació mostra que:

- En el 90% dels esllavissaments de poca activitat no s'ha observat evidències de reactivació. Del 10% restant no es disposa de la dada "Evidències de reactivació" (Figura 44).
- En el 100 % dels esllavissaments amb molta activitat s'hi ha observat evidències de reactivació (Figura 44).
- En el 50% dels esllavissaments amb moderada activitat s'hi han observat evidències de reactivació i en el 50 % restant no se n'hi ha identificat (Figura 44).

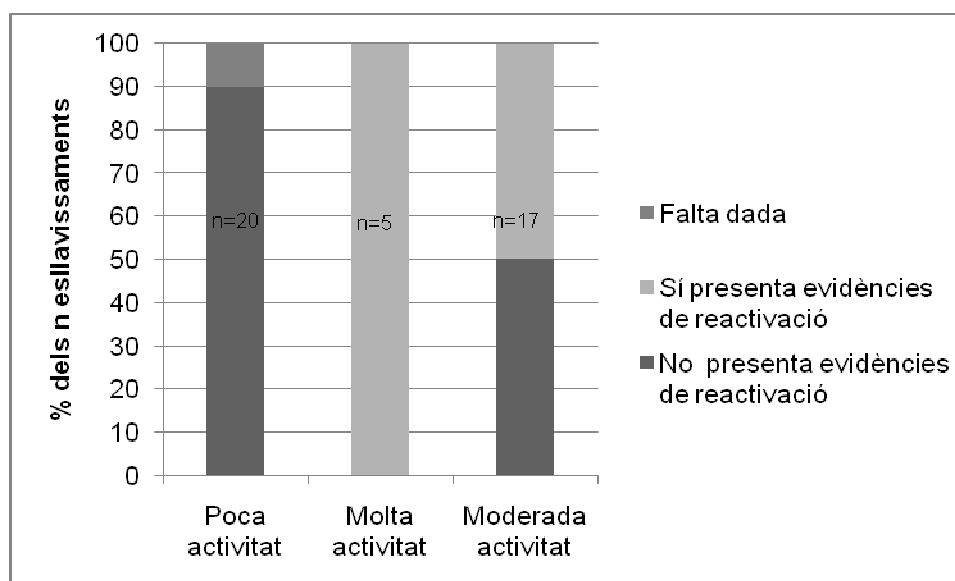


Figura 44: Percentatge d'esllavissaments de cada classe d'activitat que presenta/no presenta evidències de reactivació.

Així doncs, es pot concloure que aquest Índex d'Activitat pot ser una bona manera per aproximar de forma quantitativa el grau d'activitat. Seria bo tenir dades de datacions per tal de perfilar encara més les dades i poder obtenir valors en rangs d'edats i episodis.

4.3.2.4. Índex d'Activitat i Susceptibilitat

Els mapes de susceptibilitat a un cert moviment de massa aporten informació sobre les zones que són més propenses a esllavissar-se, segons característiques del propi terreny (topografia, geologia, propietats geotècniques, etc). (Fell et al., 2008)

Quan es fa un estudi de perillositat, cal incloure dades de freqüència dels moviments de massa. Si el que es vol és determinar el risc de la zona, també s'ha d'introduir informació sobre la probabilitat espacio-temporal i la vulnerabilitat dels elements exposats. L'objectiu del projecte en el qual s'emmarca aquesta tesina (MPRGC) és establir una zonació de risc del territori català.

No per força un mapa de susceptibilitat ha de correspondre a un mapa de perillositat. Està clar que sovint, les zones més susceptibles poden ser les més perilloses, precisament perquè són les més propenses a desencadenar episodis d'inestabilitat. Però, per exemple, en la zona d'estudi, si s'observa la ubicació dels esllavissaments amb **molta activitat** en el mapa de susceptibilitat es pot veure que en alguns d'ells la susceptibilitat és mitjana o fins i tot baixa (Figura 45).

L'Índex d'Activitat no té una clara vinculació amb la susceptibilitat. El paper que caldria donar-li seria més aviat el de fer una primera estimació de la freqüència dels moviments de massa, per tal d'establir una zonació de la perillositat.

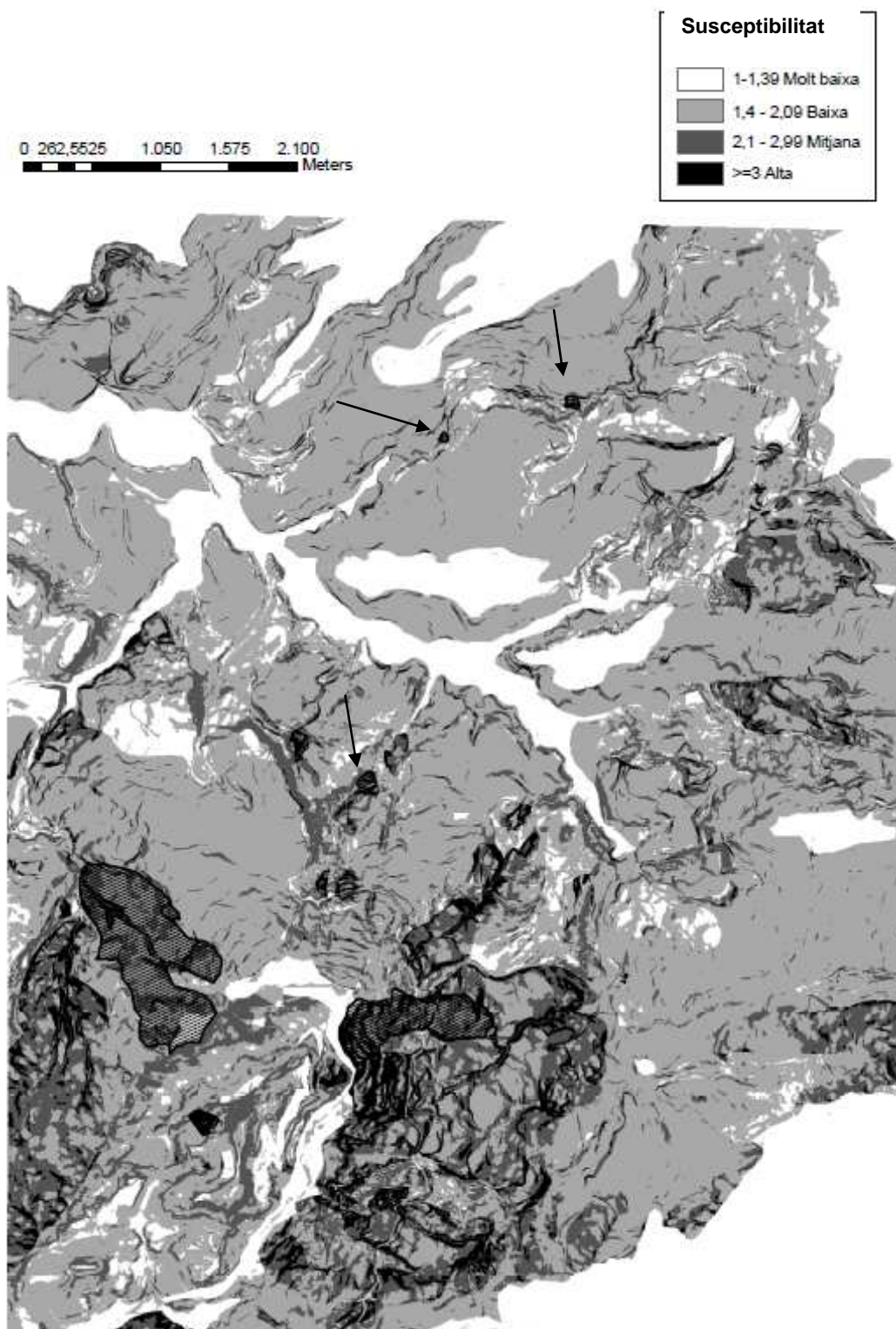


Figura 45: Mapa de susceptibilitat IIS. Es poden observar els esllavissaments en els que s'ha obtingut un grau de Molta Activitat. Cal notar que no sempre la susceptibilitat va associada a l'activitat (o freqüència).

5. CONCLUSIONS I FUTURES VIES DE RECERCA

La part de l'anàlisi d'aquesta tesina ha estat estructurada en tres grans parts. Cada part ha aportat uns resultats, dels quals s'ha pogut obtenir les següents conclusions:

Caracterització estadística detallada

Gràcies a la caracterització estadística detallada s'han pogut descriure els rangs de pendents més habituals a la zona d'estudi. Els pendents són molt suaus fins i tot a les zones esllavissades. Encara que no es disposa de dades de laboratori, s'ha descartat la idea que la inestabilitat en pendents tan baixos sigui deguda a la poca resistència mecànica del material (l'angle de fricció interna i la cohesió haurien de tenir un valor exageradament baix, fins i tot per a una resistència residual d'un material de baixa qualitat). Una hipòtesi que podria explicar aquests valors tan baixos recau en el fet que els esllavissaments que s'han utilitzat per a fer les estadístiques (subunitats d'esllavissament del mapa inventari) formen part de les grans unitats d'esllavissament, però en molts casos es troben a la zona del peu d'aquestes. Moltes d'aquestes subunitats són zones planes, que són usades com a camps de conreu i que la seva inestabilitat pot estar associada a la inestabilitat de la part alta dels vessants. En iniciar-se el moviment del terreny a les zones de més pendent es produeix també la desestabilització de les part planes, degut a la sobrecàrrega que reben (el material mobilitzat a les zones altes exerceix pressió), i s'acaben desencadenant petits esllavissaments superficials.

També gràcies a la caracterització, s'ha pogut determinar que les àrees dels esllavissaments (subunitats de les grans unitats d'esllavissament) són, en general, inferiors a 0,1 km². Tot i així s'ha observat que hi ha un gran esllavissament, que té una extensió que supera el km², com també té un pendent superior a l'habitual.

Les franges altimètriques en que se situen les esllavissades solen estar entre els 600 i els 800 m, i no solen tenir desnivells superiors als 100 m. La zona on es desencadenen els esllavissaments sol correspondre als dipòsits lutítics que es troben a la zona (gairebé un 90% de l'àrea dels esllavissaments es troba en dipòsits lutítics, entre els quals hi ha la formació Garumnià, causant principal de la inestabilitat).

En alguns afloraments de la zona d'estudi s'hi ha pogut mesurar la direcció i cabussament de l'estratificació, i en contrastar aquestes dades amb les orientacions del terreny en les zones esllavissades s'ha observat que, en general, la orientació de l'estratificació no és favorable al desencadenament d'esllavissades. Tot i així, s'han pogut fer algunes valoracions qualitatives sobre aquesta relació, diferent a banda i banda del riu principal. A la banda esquerra del riu (aigües avall), les orientacions de l'estratificació i la topografia són molt constants; mentre que a la banda dreta, hi ha

molta més variabilitat. El % de terreny esllavissat de la banda dreta és molt més alt, fet que fa pensar que la orientació de l'estratificació de la banda esquerra no és favorable a l'esllavissament. A la banda dreta, com que hi ha molta més variabilitat, les combinacions d'orientacions són molt més àmplies i hi ha més episodis d'esllavissament.

La comparació entre l'àrea de drenatge de la part alta dels esllavissaments i l'àrea dels propis esllavissaments no mostra cap relació clara. Es podria pensar que els esllavissaments que reben més aigua d'escolament superficial, desencadenen esllavissaments més extensos, però no s'ha pogut establir aquesta relació. El mètode que s'ha utilitzat per a calcular l'àrea que drena a cadascuna de les esllavissades té moltes mancances, ja que només considera l'aigua rebuda pels píxels de cota més alta, sense tenir en compte que també pot drenar aigua en cotes intermitges i sense considerar el comportament direccional de l'escolament.

Validació dels mapes de susceptibilitat

La validació dels mapes de susceptibilitat ha permès observar que l'ús del mapa litològic de camp (1:10000, elaborat especialment per al projecte de creació dels mapes de susceptibilitat) com a mapa base millora substancialment els resultats, respecte la utilització del mapa geològic 1:25000.

El mètode determinístic (SINMAP) és la tècnica que presenta una millora més gran amb l'ús del mapa litològic de camp com a mapa base, i mostra un grau de coincidència amb el mapa inventari molt elevat. També el mètode heurístic (IIS) presenta una coincidència elevada.

Els tres mètodes són molt susceptibles a les reclassificacions de la susceptibilitat. El mètode determinístic (SINMAP) i l'heurístic (IIS) permeten obtenir la susceptibilitat com a variable contínua, però a causa de la discretització de la variable en intervals de susceptibilitat (alta, mitjana, baixa, molt baixa) es poden obtenir resultats molt diferents. També la reclassificació de les classes (en classes estables i inestables) per a fer la validació dels mapes és un pas molt important, ja que s'ha demostrat que els resultats són molt susceptibles a ell. Així doncs, la classificació en intervals de susceptibilitat, condiona molt la comparació de mapes i la seva validació.

Una altra manera més correcta de validar la susceptibilitat seria fer-ho amb els valors de la variable contínua (sense classes). Però existeixen certes limitacions: una de les tres tècniques de creació de mapes no permet obtenir la variable de forma contínua (IGC), i per altra banda no és comparable el valor de la susceptibilitat en continu de IIS amb el de SINMAP perquè tenen diferent escala i distribució. La manera més adequada seria passant les dades de susceptibilitat a probabilitat. Però aquest procés no és trivial i caldria estudiar-lo amb molt més detall. Seria bo poder fer aquesta comparació de cara al futur.

L'objectiu d'aquesta validació és establir una metodologia (tècnica de validació i mapa de base) eficient que permeti elaborar mapes de susceptibilitat a altres zones del territori català. A partir dels resultats obtinguts (tenint en compte que el mètode utilitzat té certes limitacions) s'ha establert que la metodologia que mostra millors

resultats és la creació de mapes de susceptibilitat amb la tècnica SINMAP i el mapa litològic de camp com a mapa de base. Ara cal utilitzar aquesta metodologia en una altra zona de característiques litològiques semblants per a confirmar aquests resultats. La validesa dels paràmetres d'entrada de SINMAP és relativa a les litologies aflorants a la zona on es vulgui aplicar, especialment de la litologia causant de la inestabilitat. A la zona de Sant Salvador de Toló les lutites del Garumnà són la litologia inestable majoritàriament, per tant caldria buscar una zona amb característiques semblants. Per a aplicar SINMAP altres zones caldria de nou fer una calibració dels paràmetres d'entrada.

Estudi de l'activitat dels esllavissaments

Finalment, amb l'estudi de l'activitat que s'ha realitzat, s'ha pogut obtenir una classificació de l'activitat dels esllavissaments de la zona a partir de dades de camp sobre alguns indicadors. S'ha establert un índex que reflecteix de forma numèrica el grau d'activitat. A partir de dades de camp, s'ha realitzat la validació d'aquest índex i s'ha demostrat que s'adapta bé a la zona d'estudi.

Cal recordar que aquesta tesina està emmarcada dins el projecte MPRGC (*Mapa de Prevenció de Riscos Geològics de Catalunya (1:25.000)*), l'objectiu del qual és obtenir mapes de risc de les zones d'estudi. En un futur doncs, està previst que es puguin comparar les dades d'activitat obtingudes amb l'Índex d'Activitat amb les dades de freqüència que s'utilitzaran per a fer l'estudi de la perillositat. Així doncs es podrà perfilar millor quines són les mancances d'aquest índex i com es podrien millorar.

6. REFERÈNCIES

Amorin, S. (2008). *Comparación de métodos cuantitativos para el análisis de susceptibilidad a deslizamientos superficiales en La Población de Lillet, Pirineos orientales catalanes: Análisis Discriminante, Regresión Logística y Redes Neuronales*. Barcelona, Proyecto de Tesis Doctoral. Departamento de ingeniería del Terreno, Cartografía y Geofísica (UPC).

Baeza, C, Corominas, J.,. (2001). Assessment of shallow landslide susceptibility by means of multivariate statistical techniques. *Earth Surface Processes and Landforms* , 26 (10.1002/esp.263), 1251–1263.

Beven, K.J., Kirby, M.J., 1979. A physically based variable contributing area model of basin hydrology. *Hydrol. Sci. Bull.*, 24 (4), 43-69.

Carrara, A., Cardinali, M.; Guzzetti, F., Reichenbach, P. (1995). GIS technology in mapping landslide hazard. En C. A. & G. F, *Geographical information systems in assessing natural hazards* (págs. 135-175). Kluwer, Dordrecht, The Netherlands.

Copons, R. (2008). *Adquisició de dades per a l'anàlisi posterior de la susceptibilitat i la perillositat en una zona pilot situada a Sant Salvador de Toló*. Barcelona: Estudi Georisc S.L.

Corominas, J. (1989). Clasificación y reconocimiento de los movimientos de ladera. En *Estabilidad de taludes y laderas naturales, Monografía nº3* (págs. 1-30). Barcelona: Sociedad Española de Geomorfología.

Corominas, J. García, A. (1997). Terminología de los movimientos de ladera. *IV Simposio Nacional sobre taludes y laderas inestables, Vol.II* , 1051-1072.

Crozier, M. (1986). *Landslides. Causes, consequences & environment*. London & New York: Ed. Routledge.

Dai, F.C., Lee, C.F., Li, J., Xu, Z.W.. (2001). Assessment of landslide susceptibility on the natural terrain of Lantau Island. *Environmental Geology* 43 (3) , 381-391.

Fernández T, Irigaray C, El Hamdouni R, Chacón J. (2003). Methodology for landslide susceptibility mapping by means of a GIS, Application to the Contraviesa area (Granada, Spain). *Natural Hazards* , 30, págs. 297-308.

Fell, R., Corominas, J., Bonnard, C., Cascini, L., Leroi, E., Z.Savage, W., (2008). Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land-use planning. *Engineering Geology* .

Grau, A. (2003). *Creació d'una base de dades per la gestió de moviments de massa a Catalunya*. Tesina de Final de Carrera. Universitat Politècnica de Catalunya (U.P.C.)

Índex de vulnerabilitat de la matriu territorial (IVT2), 2004. Desenvolupament conceptual i cartogràfic per a Catalunya. Departament de Política Territorial i Obres Públiques i Departament de Medi Ambient i Habitatge de la Generalitat de Catalunya.

Jiménez-Perálvarez, J.D.; Irigaray, C.; El Hamdouni, R.; Chacón, J.. (2009). Building models for automatic landslide-susceptibility analysis, mapping and validation in Arc-GIS. *Natural Hazards* (DOI 10.1007/s11069-008-9305-8).

Mathew, J., Jha, V.K., Rawat, G.S. (2009). Landslide susceptibility zonation mapping and its validation in part of Garhwal Lesser Himalaya, India, using binary logistic regression analysis and receiver operating characteristic curve method. *Landslides* (DOI 10.1007/s10346-008-0138-z), 17-26.

Oh, H.J., Lee, S., Chotikasathien, W., Kim, C.H., Kwon, J.H. (2009). Predictive landslide susceptibility mapping using spatial information in the Pechabun area of Thailand. *Environ Geol*, 57 (DOI 10.1007/s00254-008-1342-9), 641-651.

Pack, R.T., Tarboton, D.G., Goodwin, C.N., 1998. The SINMAP approach to terrain stability mapping. Eighth International Congress International Association for Engineering Geology and the Environment, Proceedings, Vols 1-5, 1157-1165.

Pack, R.T., Tarboton, D.G., Goodwin, C.N., A, P., 2005. SINMAP. A Stability Index Approach to Terrain Stability Hazard Mapping. User's Manual. (reports and software available at <http://hydrology.neng.usu.edu/sinmap/>).

Santacana, N. (2001). *Análisis de la susceptibilidad del terreno a la formación de deslizamientos superficiales y grandes deslizamientos mediante el uso de sistemas de información geográfica. Aplicación a la cuenca alta del río Llobregat*. Barcelona: Tesis Doctoral. Departamento de ingeniería del Terreno, Cartográfica y Geofísica (UPC).

Sharpe, C. (1938). *Landslides and their control*. Prague: Academia & Elsevier.

Turner, A.K., Schuster, R.L. (1996). *Landslides: investigation and mitigation*. USA: National Academy of Sciences.

Van Westen, C. (1993). Application on Geographic Information System to landslide hazard zonation. *ITC Publications, nº ITC, Enschede 245*.

Varnes, D. (1978). Slope movement types and processes, Special report 176. En R. K. Schuster, *Landslides: analysis and control*. *Transportation research Board* (págs. 11-33).

Vilaplana, J. (2008-2009). Apunts Riscos geològics. Enginyeria Geològica.

Yalcin A., (2007) The effects of clay on landslides: A case study, *Applied Clay Science*, Volume 38, Issues 1-2, December 2007, Pages 77-85

ANNEX 1: TAULES DE RECLASSIFICACIÓ

S'han fet diverses reclassificacions del mapa geològic 1:25000 per tal d'obtenir les classes necessàries per a cada tècnica (SINMAP, IIS, IGC).

A la Taula 19 apareixen les 2 classificacions dels epígrafs del mapa geològic. SINMAP i IIS utilitzen la mateixa reclassificació, en 6 classes:

- Substrat dur
- Alternances roques dures/toves
- Formació superficial grollera
- Substrat tou
- Col·luvió fi
- Terreny esllavissat lutític

Cal tenir en compte que IIS utilitza 5 classes, ja que les classes de substrat tou i les alternances de roques dures i toves s'uneixen (Taula 8).

Mentre que IGC utilitza una reclassificació en 5 classes:

- Roques massives
- Roques massives amb intercalacions. Graves
- Alternances litològiques. Graves i sorres cohesives
- Alternances litològiques predomini argilós. Graves i sorres soltes
- Lutites

A la Taula 18 es presenten dues reclassificacions del mapa litològic de camp, a fi de que els grups litològics corresponguin amb els proposats per a la metodologia IGC.

Taula 18: Diferents opcions de classificació dels mapes litològics de camp a escala 1/10000 segons les classes litològiques proposades per l' IGC (Taula 11)

Tipus Litologia IGC	Proposta IGC	Proposta IGC-UPC opció A	Proposta IGC-UPC opció B
1	I- Roques massives	Substrat dur	
2	II- Roques massives amb intercalacions / Graves cimentades	Intercalacions dur-tou	
3	III- Alternances litològiques/Graves i sorres cohesives/Tarteres	Col·luvió granular	
4	IV- Alternances litològiques amb predomini argilós/graves i sorres por cohesives	Col·luvió fi i esllavissat	Col·luvió fi
5	V- Dipòsits lutítics	Substrat tou	Substrat tou i esllavissat

Taula 19: Reclassificació del mapa geològic 1:25000

EPIGRAF	DESCRIPCIÓ	IGC	IIS/SINMAP	IGC
CAAm	CAAm. Calcàries noduloses ocre, margues ocre, grises i localment roges, amb intercalació	1	1	1- Roques massives
CApc	CApc. Calcàries massives micrítiques o bioclàstiques marrons, grises o ocre. L'estratí	1	1	2- Roques massives amb intercalacions. Graves
CBac	CBac. Calcàries micrítiques massives i calcàries bioclàstiques de color gris o marró. S'ordenen	1	1	3- Alternances litològiques. Graves i sorres cohesives.
CBeb	CBeb. Bretxa de calcàries i dolomies massiva de color gris. S'ordena en capes de potència	1	1	4- Alternances litològiques predomini argilós. Graves i
ECgc	ECgc. Gresos grollers i conglomerats de color gris-ocre amb alguna intercalació de margue	2	1	5- Lutites
ECgmc	ECgmc. Gresos, margues i conglomerats de color gris. Les margues presenten aspecte nodul	3	1	
ECgm	ECgm. Gresos amb microconglomerats, alternant amb margues ocre i grises. Els gresos són	3	2	IIS-SINMAP (UPC)
Elga	Elga. Gresos arcòsics gris clar, conglomerats i intercalacions de margues. Els gresos pre	3	2	1- Substrat dur
Elmg	Elmg. Margues amb intercalacions de gresos calcarenítics de color gris fosc. Els gresos s	4	2	2- Alternances roques dures i
JCb	JCb. Calcàries micrítiques, calcàries pel·letoidals, dolomies i calcàries o dolomies bre	1	1	3- Fm. Superficial grollera
JD	JD. Dolomies massives de color gris fosc i localment gris rosat. Es disposen en capes mèt	1	1	4- Substrat tou
JL1	JL1. Calcàries o dolomies laminades i col·litzes, de color gris o blanquinós, i bretxes d	1	1	5- Col·livió fi
JL2	JL2. Margues ocre i margocalcàries o margodolomies noduloses ocre. Formen capes de pot	3	1	6- Terreny esllavissat lutític
JMc	JMc. Calcàries micrítiques i dolomies laminades de color gris clar o blanc. Es disposen e	2	1	
KCb1	KCb1. Calcarenites, amb intercalacions de calcàries bioclàstiques i de gresos, molt ben c	2	1	
KCb2	KCb2. Calcàries bioclàstiques i calcarenites de color gris, ocre i rosat, amb intercalac	2	1	
KCMqc1	KCMqc1. Gresos i calcàries bioclàstiques; els gresos són grisos i ocre i les calcàries s	2	1	
KCScc	KCScc. Calcàries noduloses ocre, calcarenites rosades o rogenques i margues grises. Form	2	1	
KCTcf	KCTcf. Calcàries micrítiques i calcàries bioclàstiques. Formen capes mètriques i decamètr	1	1	
KMcq	KMcq. Calcàries micrítiques amb intercalacions de lignits. La base és constituïda per una	2	2	
KMqc2	KMqc2. Gresos amb calcarenites. Els gresos són quarzítics i s'ordenen en capes que van de	3	2	
KMIg	KMIg. Lutites versicolors i violàcies amb intercalacions de gresos i conglomerats. Són lu	5	4	
KMIlg	KMIlg. Lutites grises, i en menor proporció, lignits i gresos. Les lutites són grises, am	5	4	
KMq3	KMq3. Gresos, calcàries micrítiques i margues grises. En general, formen cicles granodecr	3	2	
KPlcg	KPlcg. Lutites vermelles i versicolors, gresos i conglomerats. Formen una megasequència q	5	4	
KSqm	KSqm. Gresos de colors grisos o rogenques amb intercalacions de calcàries bioclàstiques (ca	3	1	
KSqm_ca	KSqm_ca. Gresos de colors grisos o rogenques amb intercalacions de calcàries bioclàstiques	3	1	
KSm	KSm. Margues grises, margocalcàries, calcàries bioclàstiques (ca) i gresos (g). Es dispos	4	2	
KSm_ca	KSm_ca. Margues grises, margocalcàries, calcàries bioclàstiques (ca) i gresos (g). Es dis	4	2	
KSm_g	KSm_g. Margues grises, margocalcàries, calcàries bioclàstiques (ca) i gresos (g). Es disp	1	1	
Ocb	Ocb. Conglomerats amb blocs. Conglomerats massius, o amb debil estratificació, disposats	1	1	
Occ	Occ. Conglomerats amb estratificació hemimètrica-mètrica disposats en capes de morfologia	2	1	
Ocq	Ocq. Conglomerats, gresos grisos i lutites vermelles. Els conglomerats es disposen en cap	2	2	
Och	Och. Conglomerats grisos. Tenen estratificació hemimètrica-mètrica i base canaliforme o p	1	1	
Oqc	Oqc. Conglomerats, gresos vermells i lutites marrons vermelloses. Els conglomerats presen	2	2	
Olc	Olc. Lutites vermelles i conglomerats grisos. Nivells mètrics de lutites vermelles amb in	4	2	
Olga	Olga. Lutites marrons i vermelloses, gresos arcòsics i conglomerats. Els gresos s'ordenen	4	2	
Olqc	Olqc. Lutites marrons vermelloses, gresos vermells i grisos i, esporàdicament, conglomer	4	2	
PElc	PElc. Calcàries micrítiques amb alveolines, calcàries granosuportades amb matriu micrític	1	1	
PEIm	PEIm. Margues amb intercalacions de gresos. Els gresos són de gra de fi a molt fi, amb gr	3	2	
Plgg	Plgg. Lutites vermelles amb algunes intercalacions de gresos i conglomerats. Els gresos i	5	4	
Plig	Plig. Lutites versicolors amb intercalacions de gresos i conglomerats i nivells irregular	4	4	
Qac	Qac. Argiles amb sorres i llims que contenen còdols subangulosos i subarrodonits aïllats.	3	3	
Qcd	Qcd. Argiles i sorres limoses que engloben còdols i blocs subangulosos i, ocasionalment,	3	3	
Qcs	Qcs. Argiles i llims arenosos que poden presentar còdols angulosos aïllats. Tenen una pot	5	6	
Qc	Qc. Argiles, llims i sorres que contenen còdols, generalment subangulosos. L'estructura i	5	5	
Qdo	Qdo. Argiles i llims rogenques desenvolupats en petites dolines sobre els materials calcari	5	5	
Qdt	Qdt. Dipòsits constituïts per clasts angulosos carbonatats amb matriu de llims i argiles.	3	3	
Qea	Qea. Argiles i llims arenosos amb alguns clasts angulosos aïllats. Són dipòsits de poca e	5	5	
Qeq	Qeq. Argiles i llims amb blocs angulosos producte d'esllavissaments d'escala hectomètrica	5	6	
Qepq	Qepq. Blocs heteromètrics angulosos, amb una proporció variable de gresos i llims. Es tro	3	3	
Qlla	Qlla. Argiles, llims i gresos de mida de gra fi i mitjà que, molt sovint, contenen graves	4	3	
Qsa	Qsa. Gresos de gra mitjà i fi amb argiles i llims que engloben còdols. Poden assolir 4 o	3	3	
Q10'	Q10'. Graves, gravetes i gresos a la base, que passen verticalment, i de manera transició	4	3	
Q10	Q10. Graves i gravetes amb gresos de mida de gra de mitjà a groller. Els dipòsits present	4	3	
Q1t	Q1t. Dipòsits de clasts angulosos, heteromètrics, sense matriu. Els clasts són predominan	4	3	
Qv1	Qv1. Argiles i gresos limosos amb còdols i blocs subangulosos i subarrodonits. El conjun	4	3	
Qv2	Qv2. Gresos, llims i argiles amb còdols de morfologia variada, heteromètrics i subarrodon	4	3	
Qv3	Qv3. Gresos, llims i argiles amb còdols de morfologia variada, segons l'àrea de procedènc	4	3	
Tk	Tk. Calcàries laminades o dolomies massives. Formen capes mètriques amb bona cimentació.	4	1	
TRc	TRc. Calcàries laminades o dolomies massives. Formen capes mètriques amb bona cimentació.	1	1	
Q11	Q11. Graves i còdols amb matriu sorrenca a la base que cap al sostre i de manera transicional	4	3	
Q12	Q12. Graves i còdols amb matriu sorrenca poc i mal seleccionats a la base. Cap a sostre guanyen	4	3	
Q13	Q13. Còdols i graves grolleres arrodonides, heteromètriques, amb un grau de cimentació variable	3	3	
Q1v3	Q1v3. L'estructura interna del dipòsit es caracteritza per estratificacions encreuades, planars i en solc,	3	2	
Qvi	Qvi. corresponents a dipòsits fluvio-torrencials de tipus tr	4	3	
PDCq	PDCq. gruix de fins a 4 metres i generalment es troben molt bioturbades a sostre. En aquest tram apareix per	1	1	
KMq4	en menor proporció, estratificació encreuada de potència decimètrica, d'angle alt i mitjà, planar i en solc,	1	1	

ANNEX 2: FITXA DE CAMP

FITXA D'INVENTARI DE MOVIMENTS DE MASSA		UPC																																	
LLISCAMENTS I COLADES																																			
<p>Nota → el codi per omplir és el següent: M = mesurat; E = estimat; X = incert; O = indeterminable</p>																																			
<p>Identificador moviment: N° ordre (XXX) <input type="checkbox"/> Incompleta → Fulls topogràfics: _____</p>		<p>Situació moviment: coordenades X: _____ Y: _____</p> <p>Població: _____</p>																																	
<p>N° referència fotos: N° ordre moviment/N° ordre foto</p>		<p>Tipus de moviment:</p> <p><input type="checkbox"/> Lliscaments: <input type="checkbox"/> Traslacional <input type="checkbox"/> Rotacional</p> <p><input type="checkbox"/> Colades</p> <p>Lliscaments amb desplaçament limitat (en cas de desenvolupament de fluxe utilitzar fitxa "corrents")</p>																																	
<p>Dimensions del moviment:</p> <p>Es possible estimar la Profunditat? <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Si Es veu la sup.de ruptura? <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Si</p> <p>Profunditat mitjana (m): _____</p> <p>Criteri per a obtenir-la: _____</p> <p>Volum max massa mobilitzada(m³): _____</p>		<p>Esquema moviment</p>																																	
<p>Litologia de la sup. de ruptura</p> <p>Litologia: _____</p> <p>Tipus de material: <input type="checkbox"/> Roca dura <input type="checkbox"/> Roca tova <input type="checkbox"/> Sòl granular <input type="checkbox"/> Sòl fi (sòl cohesiu)</p> <p>Altres comentaris: _____</p> <p>Formació superficial en sup. ruptura: si <input type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/></p> <p>Gruix de la form. Superf. (m) : _____</p>		<p>Ús del sòl: z. de coronació z. de trajecte z. del peu</p> <table border="1"> <tbody> <tr> <td>Roca</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Bosc dens</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Bosc clar</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Matollar</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Prats</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>aterassat</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>erm (Sòl nu)</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Tartera</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> </tbody> </table> <p>Altres: _____</p>		Roca	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Bosc dens	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Bosc clar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Matollar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Prats	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	aterassat	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	erm (Sòl nu)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Tartera	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Roca	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																
Bosc dens	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																
Bosc clar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																
Matollar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																
Prats	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																
aterassat	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																
erm (Sòl nu)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																
Tartera	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																
<p>Mesures correctores existents</p> <p><input type="checkbox"/> Drenatge <input type="checkbox"/> Malles <input type="checkbox"/> Ancoratges <input type="checkbox"/> Murs <input type="checkbox"/> Formigó projectat <input type="checkbox"/> Inexistents</p> <p>Altres: _____</p>		<p>Mobilitat colades:</p> <p>→ situar en esquema o mapa la zona de formació, els levées i els lòbuls</p> <p>Mobilitat lliscament superficial:</p> <p><input type="checkbox"/> bloc rígid <input type="checkbox"/> amb disgregació / disgregat</p> <p>→ descripció de la morfologia local: _____</p>																																	

FITXA D'INDICADORS D'EDAT		Els recuadres de color gris clar i la fitxa d'activitat recurrent s'ompliran en una segona fase (per José Moya)	
Hi ha evidències de reactivació del moviment o activitat repetida a l'àrea font o a la d'acumulació? <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No		(omplir la fitxa d'indicadors d'edat amb les dades corresponents a l'episodi més recent -i després la fitxa d'indicadors d'activitat recurrent-)	
INDICADORS DIRECTES			
<input type="checkbox"/> Control de desplaçament <input type="checkbox"/> Enquesta <input type="checkbox"/> Arxiu <input type="checkbox"/> Referència bibliogràfica			
<input type="checkbox"/> Afecta una construcció humana: _____			
Any de les fotografies aèries a les que apareix el moviment: <input type="checkbox"/> 1957 <input type="checkbox"/> 1977 <input type="checkbox"/> 1985 <input type="checkbox"/> * * Any del vol o "en cap" (no visible)			
Facilitat amb la qual el moviment s'ha identificat a les fotografies aèries <input type="checkbox"/> Molt fàcil <input type="checkbox"/> Fàcil <input type="checkbox"/> Difícil <input type="checkbox"/> Molt difícil			
INDICADORS GEOMORFOLÒGICS			
Esquemes		Localització	
<input type="checkbox"/> Presència <input type="checkbox"/> Obertes i sense rebliment <input type="checkbox"/> Escarpament principal <input type="checkbox"/> Escarpament secundari <input type="checkbox"/> Dipòsit (mat. esllav.) <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> Parcialment reblertes		<input type="checkbox"/> Escarpament principal <input type="checkbox"/> Escarpament secundari <input type="checkbox"/> Dipòsit (mat. esllav.)	
Escarpament de coronació	Perfil transversal <input type="checkbox"/> Cresta <input type="checkbox"/> Angulara <input type="checkbox"/> Subangulara <input type="checkbox"/> Arrodonida <input type="checkbox"/> Molt arrodonida 	Alçada total del escarp. (m) <input type="text"/> Pendent màxim (°) <input type="text"/> Direcció (0-180°) <input type="text"/> Fotos n° <input type="text"/>	
	Part alta <input type="checkbox"/> Roca dura <input type="checkbox"/> Roca tova <input type="checkbox"/> Sol granular sòlt <input type="checkbox"/> Sol granular cimentat <input type="checkbox"/> Sol cohesiu (limo-argil·lós) Part baixa (si hi ha altre material) <input type="checkbox"/> graves <input type="checkbox"/> sorres <input type="checkbox"/> % de l'alçada de l'escarp. corresponent a cara lliure <input type="text"/> 0 <input type="text"/> ≤20 <input type="text"/> ≤40 <input type="text"/> ≤60 <input type="text"/> ≤80 <input type="text"/> ≤100	Grau de meteorització (aspecte) de la superfície (a es de roca dura i per comparació amb afloram. de l'entorn) <input type="checkbox"/> Molt baix <input type="checkbox"/> Baix <input type="checkbox"/> Mig <input type="checkbox"/> Alt <input type="checkbox"/> Molt alt Aspecte de fractura fresca ↓ Aspecte de fractura molt antiga	
	Xaragalls (roques toves i sòls) <input type="checkbox"/> Absents <input type="checkbox"/> Incipients <input type="checkbox"/> Marcats A la cara lliure <input type="checkbox"/> Al talús col·luvial <input type="checkbox"/>	Lliquens (roques dures) <input type="checkbox"/> A la cara lliure <input type="checkbox"/> Als blocs del talús <input type="checkbox"/> Recobriments de la superfície rocosa (%) <input type="checkbox"/> ≤5 <input type="checkbox"/> ≤10 <input type="checkbox"/> ≤25 <input type="checkbox"/> ≤50 <input type="checkbox"/> ≤75 <input type="checkbox"/> ≤100	
	Pendent mig (°): <input type="text"/> Ruptura de pendent respecte a la cara lliure <input type="checkbox"/> Molt marcada (x > 30°) <input type="checkbox"/> Marcada (15 < x ≤ 30°) <input type="checkbox"/> Suau (5 < x ≤ 15°) <input type="checkbox"/> Molt suau (x ≤ 5°)	Cobertura vegetal <input type="checkbox"/> Sense vegetació <input type="checkbox"/> Arbres dispersos <input type="checkbox"/> Cob. herbàcia descont. <input type="checkbox"/> Bosc <input type="checkbox"/> Cob. herbàcia continua	
	Material <input type="checkbox"/> Arrossegalls sorrencs i fins (terra) <input type="checkbox"/> Esbaldregalls <input type="checkbox"/> Arrossegalls grollers	Arbrers <input type="checkbox"/> Presència <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> Arbrers inclinats, corbats o amb ferides d'impacte <input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Arbrers verticals a contrapendents <input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Arbrers no afectats (verticals, sense ferides, ...) de diferents generacions, estructura del bosc similar fora del moviment <input type="checkbox"/> Si	
Superfície de la massa moguda	Litologia <input type="checkbox"/> Molt baix <input type="checkbox"/> Mig <input type="checkbox"/> Molt alt <input type="checkbox"/> Baix <input type="checkbox"/> Alt <input type="checkbox"/> alt	Grau de meteorització de la superfície <input type="checkbox"/> Molt baix <input type="checkbox"/> Mig <input type="checkbox"/> Molt alt <input type="checkbox"/> Baix <input type="checkbox"/> Alt <input type="checkbox"/> alt	
	Blocs de roca (1) <input type="checkbox"/> Litologia <input type="checkbox"/> Grau de meteorització de la superfície <input type="checkbox"/> Molt baix <input type="checkbox"/> Mig <input type="checkbox"/> Molt alt <input type="checkbox"/> Baix <input type="checkbox"/> Alt <input type="checkbox"/> alt	Lliquens <input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> % recobriments dels blocs <input type="checkbox"/> ≤5 <input type="checkbox"/> ≤25 <input type="checkbox"/> ≤75 <input type="checkbox"/> ≤10 <input type="checkbox"/> ≤50 <input type="checkbox"/> ≤100	
Drenatge (2) <input type="checkbox"/> Sense xarxa superficial <input type="checkbox"/> Xarxa incipient <input type="checkbox"/> Xarxa jerarquitzada <input type="checkbox"/> Torrent(s) lateral(s) encaixat(s)			
Peu (3)	<input type="checkbox"/> Peu identificable <input type="checkbox"/> Ruptura del pendent frontal <input type="checkbox"/> Angulara, ben marcada <input type="checkbox"/> Suavitzada i amb talus d'arrossegalls <input type="checkbox"/> Molt suavitzada i amb talus d'arrossegalls	<input type="checkbox"/> Erosionat: <input type="checkbox"/> Per altres moviments de vessant <input type="checkbox"/> Per un corrent fluvial transversal <input type="checkbox"/> Per excavació antròpica <input type="checkbox"/> Per altre fenomen:	
	<input type="checkbox"/> Peu no identificable <input type="checkbox"/> Enterrat: <input type="checkbox"/> Per altres moviments de vessant <input type="checkbox"/> Per altre fenomen:	<input type="checkbox"/> El peu ha obaturat un fons de vall transversal a la direcció de moviment <input type="checkbox"/> Llac d'obturació encara existent <input type="checkbox"/> S'observen dipòsits d'obturació <input type="checkbox"/> Riu encaixat al marge del peu: <input type="checkbox"/> poc <input type="checkbox"/> molt <input type="checkbox"/> Riu soscavant activament el peu	
Altres observacions <input type="text"/>			

(1) A corrents d'arrossegalls, despeniments i allaus rocallosos. (2) Llevat despeniments i allaus de roca. (3) Llevat despeniments.

Figura 46: Fitxa de camp que s'ha utilitzat per a fer la classificació de l'activitat dels esllavissaments de la zona d'estudi.

ANNEX 3: INFORMACIÓ BÀSICA (DIGITAL)

En aquest annex, en format digital, s'adjunten:

- Mapes de base:
- Mapes litològics que s'han utilitzat en cadascun dels mapes validats

Mapa de susceptibilitat	Mapa de base original	Reclassificació	Nom del mapa de base final (.pdf)
SINMAP geològic	Geològic 1:25000	Taula 19 (columna SINMAP/IIS)	geo25MSINMAP
SINMAP litològic camp	Litològic de camp (1:10000)	No reclassificació, original.	litocampSINMAP
IIS geològic	Geològic 1:25000	Taula 19 (columna SINMAP/IIS)	geo25MIIS
IIS litològic camp	Litològic de camp (1:10000)	Taula 8	litocampIIS
IGC geològic	Geològic 1:25000	Taula 19 (columna SINMAP/IIS)	geo25MIGC
IGC litològic camp	Litològic de camp (1:10000)	Taula 18, Opció B	litocampIGC

- Mapa de pendents (.pdf)
- Recull fotogràfic d'imatges de la zona d'estudi